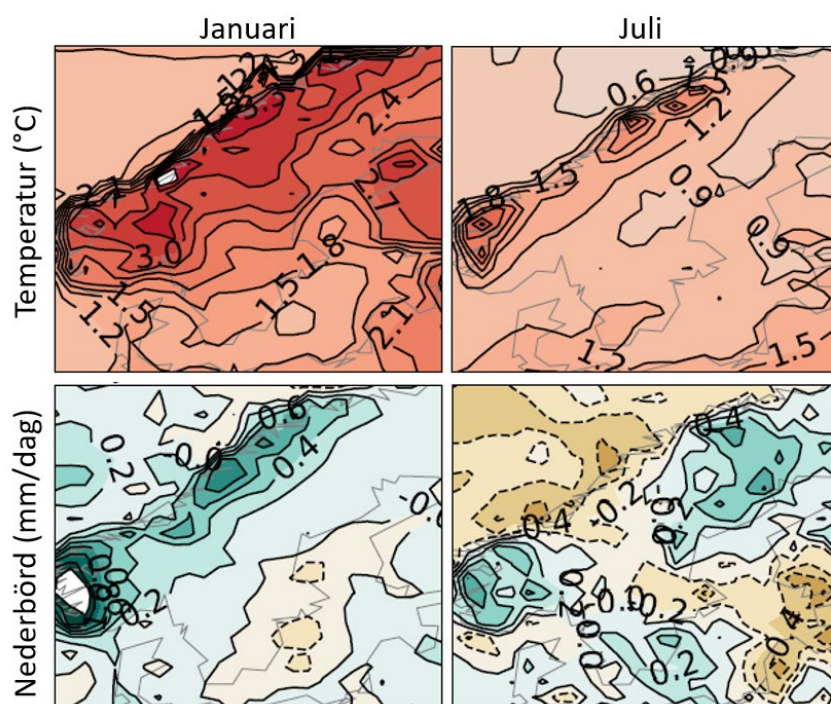


Betydelsen av storskalig atmosfärisk cirkulation för Sveriges temperatur- och nederbörds klimat

En jämförelse av normalperioder

Erik Kjellström, Felicitas Hansen, Danijel Belušić



Pärbild.

Bilden föreställer förändring i temperatur och nederbörd för januari och juli enligt den globala återanalysen ERA5 mellan de två normalperioderna 1991–2020 och 1961–1990.

KLIMATOLOGI No. 61, 2021

**Betydelsen av storskalig atmosfärisk cirkulation för
Sveriges temperatur- och nederbörds klimat**

En jämförelse av normalperioder

Erik Kjellström, Felicitas Hansen, Danijel Belušić

Granskad och Godkänd av: Gustav Strandberg

Funktion:

OBS! Detta är en rättad version av rapporten där Figur 11 och 15 bytts ut eftersom ett par av panelerna hade hamnat i fel ordning.

Denna sida är avsiktligt blank

Sammanfattning

Rapporten beskriver skillnaden i temperatur- och nederbörds klimat mellan den senaste normalperioden 1991–2020 och de tidigare normalperioderna under 1900-talet; 1901–1930, 1931–1960 och 1961–1990. Fokus ligger på att beskriva hur klimatet ändrats i relation till hur den storskaliga atmosfärs cirkulationen sett ut. Vi har analyserat detta med hjälp av två olika metoder: i) jämförelse mot det s.k. NAO-indexet som beskriver i vilken grad det storskaliga vindmönstret över det Nordatlantiska och europeiska området är präglad av en stark västlig luftströmning, och ii) en klusteranalys där alla dagar med liknande storskalig lufttrycksfördelning för varje kalendermånad först grupperats och sen analyserats i detalj. Analyserna är gjorda på observationsdata från SMHI:s temperatur- och nederbördsstationer samt på så kallade återanalysdata.

Resultaten visar på tydliga skillnader i klimat mellan de olika normalperioderna. Generellt är den senaste 30-årsperioden varmast för alla årstider och mest nederbördsrik. Den storskaliga cirkulationen har också varierat mellan de olika normalperioderna där t ex 1991–2020 präglats av många milda vintrar med luft som strömmat in från Atlanten. Resultaten visar också att detta bara kan förklara en del av skillnaden mellan de olika normalperioderna. En huvudslutsats i arbetet är att för de allra flesta typerna av vädersituation har det under den senaste normalperioden 1991–2020 i medeltal varit varmare än under den föregående perioden. Dvs. oavsett om väderläget präglats av situationer med milda vindar från Atlanten eller av sträng vinterkyla eller hög sommarvärme i samband med högtryckssituationer kan en uppvärmning konstateras.

Summary

Here, the difference in temperature and precipitation climate is described between the most recent normal period 1991–2020 and the previous normal periods during the 20th century; 1901–1930, 1931–1960 and 1961–1990. The focus lies on describing how the climate has changed in relation to the large-scale atmospheric circulation. We have analysed this with different methods: i) comparison with the so-called NAO index that describes the extent to which the large-scale wind pattern over the North Atlantic and European area is characterized by westerlies, and ii) a cluster analysis where all days with similar large-scale air pressure distribution are analysed in detail for each calendar month. The analysis considers observational data from SMHI's temperature and precipitation stations and reanalysis data.

The results show clear differences in climate between the different normal periods. In general, the last 30-year period is warmest and wettest for all seasons. The large-scale circulation has also varied between the various normal periods with, for example, 1991–2020 seeing many mild winters with air flowing in from the Atlantic. The results also show that this can only explain part of the difference between the different normal periods. A main conclusion is that for the majority of weather types, it has on average been warmer during the most recent normal period 1991–2020 than during the previous period. Or, in other words, regardless of whether the weather was characterized by situations with mild winds from the Atlantic, or severe winter cold or intense summer heat waves both in connection with high-pressure situations, warming is noted.

Denna sida är avsiktligt blank

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND / PROBLEMSTÄLLNING	4
2	SYFTE	6
3	METOD OCH DATA	6
3.1	Observationsdata.....	6
3.2	Regression av temperatur och nederbörd mot NAO	7
3.3	Klassificering av cirkulationstyper	7
4	RESULTAT.....	8
4.1	Variationer i temperatur och nederbörd	8
4.2	Variationer i NAO-index.....	11
4.3	Samvariation av NAO-index och temperatur och nederbörd i Sverige.....	13
4.4	Till vilken grad kan ändringar i NAO-index förklara ändringarna i temperatur och nederbörd?.....	16
4.5	Klusteranalys av cirkulationstyper baserat på den storskaliga atmosfäriska strömningen	17
4.6	Vad säger klusteranalysen om skillnaderna mellan 1961–1990 och 1991–2020?	22
4.7	Skillnader för Sverige som helhet mellan 1991–2020 och 1961–1990.....	26
4.8	Till vilken grad kan ändringar i cirkulationstyper förklara ändringarna i temperatur och nederbörd?	29
5	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER.....	33
6	REFERENSER	35

Denna sida är avsiktligt blank

1 Bakgrund / Problemställning

Vädret i Sverige är till stor del styrt av den storskaliga atmosfäriska cirkulationen. Luftmassor som rör sig in över Skandinavien från Nordatlanten, Arktis eller Centraleuropa kan ha mycket olika egenskaper vilket präglar våra temperatur- och nederbördsförhållanden. Stora växlingar i strömningsmönster från en dag till nästa, och mellan veckor, månader, årstider och år gör att vi har en stor variabilitet i vårt klimat. Även på längre sikt kan detta påverka klimatet och förstärka eller försvaga den förändring vi ser i samband med den globala uppvärmningen. Förståelse av den här variabiliteten är därför viktig både för att förklara varför klimatet har varierat som det har gjort, och för att bättre kunna förstå och beskriva hur det kan komma att ändras framöver.

I och med den globala uppvärmningen ändras flera av de faktorer som påverkar vårt väder och klimat (IPCC, 2013). Generellt värms troposfären upp till följd av den förstärkta växthuseffekten vilket ger högre temperaturer. Men uppvärmningen är inte likadan överallt. Till exempel värms atmosfären över kontinenterna snabbare än atmosfären över hav. Ett annat exempel är att atmosfären över områden som går från att vara snö- och istäckta till att vara snö- och isfria värms kraftigare än sådana som är snö- och isfria redan från början. Eftersom temperaturkontraster mellan höga och låga latituder och mellan hav och land driver den storskaliga atmosfäriska cirkulationen kan den här typen av skillnader i uppvärmningstakt leda till ändringar i vädermönster vilket i sin tur kan påverka lokala klimatförhållanden på en viss plats.

Under de senaste ca 150 åren har jordens klimat sett en kraftig ökning av den globala medeltemperaturen. Ökningen av Sveriges medeltemperatur har varit ungefär dubbelt så stor. Huvudorsaken till den globala uppvärmningen under den här tidsperioden är ökningen i halten av växthusgaser i atmosfären (IPCC, 2013). Även andra faktorer påverkar klimatet, såsom att halten av aerosolpartiklar har ändrats i atmosfären och att markytans egenskaper ändrats till följd av ändrad markanvändning. Utöver ändringar i dessa så kallade externa drivkrafter kan klimatet också påverkas till följd av intern långsiktig naturlig variabilitet. I det här sammanhanget är variabilitet i den storskaliga atmosfäriska cirkulationen en viktig del. Hur de här olika faktorerna har påverkat klimatet i Europa har studerats bland annat av Hegerl et al. (2018) för 1900-talets första hälft där de pekar på en kombination av mänsklig klimatpåverkan och naturlig variabilitet för att förklara de observerade ändringarna.

Den storskaliga cirkulationen i atmosfären över Nordatlanten och Europa kan förenklat beskrivas med hjälp av NAO-indexet (Hurrell, 1995). NAO, som står för "North Atlantic Oscillation", kan ses som en variation mellan olika lufttrycksförhållanden och därmed strömningsmönster över Nordatlanten. NAO handlar mestadels om växlingar i den storskaliga cirkulationen i atmosfärens lägre del, troposfären. Men samverkan mellan troposfären och stratosfären och mellan troposfären och haven gör att NAO både påverkar och påverkas på ett mer omfattande sätt av klimatsystemet i stort (Hurrell et al., 2003).

När NAO är positivt gäller förenklat att väderläget är lågtrycksdominerat på norra Atlanten i närheten av Island. Tillsammans med det subtropiska högtrycket i närheten av Azorerna fås då en stor nord-sydlig tryckskillnad över Nordatlanten vilket ger upphov till västliga vindar mot Nordeuropa. Vid andra storskaliga väderlägen kan strömningen präglas av mer eller mindre starka nordliga, sydliga eller ostliga luftströmmar över Europa. Under vintern gör västvindarna vid NAO-positiva förhållanden att vädret i stora delar av Nordeuropa påverkas av maritimt präglade luftmassor som strömmar in från Atlanten. Sådana vintrar blir därför relativt milda och på många håll nederbördsrika, särskilt längs västra sidan av bergskedjor och i kustzoner som vetter mot väster (Kjellström et al., 2013).

När NAO-index är negativt eller nära noll är strömningen nordlig, sydlig eller ostlig. På vintern, när det är kallt både i Arktis, Ryssland och Centraleuropa, är sådana väderlägen

förknippade med kallare förhållanden i Sverige. Under sommarhalvåret är skillnaderna mellan låg- och högtryck generellt mindre och den storskaliga cirkulationen inte lika kraftig vilket gör att NAO-index inte lika tydligt är kopplat till väder- och temperaturvariationer i Nordeuropa (Folland et al., 2009). På sommaren betyder maritimt präglade luftmassor från Nordatlanten ofta svalare väder då den mest utpräglade värmen istället fås vid högtrycksdominerat väder med kontinentalt präglade luftmassor som rör sig in över Sverige från Central- och Sydeuropa.

Långa tidsserier av tryckmätningar gör att NAO-index kan beräknas månadsvis tillbaka till 1800-talet (Jones et al., 1997). Detta ger en mycket bra möjlighet att undersöka hur korrelationen mellan NAO-index och till exempel Sveriges medeltemperatur eller nederbörd har varierat med tiden. Tidsserier visar på att NAO-index i medeltal varierar över tid och till exempel har vissa årtionden generellt varit mer NAO-positiva än andra.

Rent statistiskt kan variabiliteten i NAO-index förklara en stor del av variabiliteten i temperatur- och nederbörds klimatet i Nordeuropa (Hurrell, 1995). För vintermånaderna kan förklaringsgraden vara uppemot 60–70% av den totala variansen. Samtidigt betyder det att 30–40% av variabiliteten inte förklaras av NAO-variabilitet. På sommaren då förklaringsgraden är väsentligt lägre är det alltså främst andra faktorer än NAO som styr variabiliteten i vårt väder. En anledning till att variationer i NAO-index inte kan förklara all variabilitet i temperatur och nederbörd ligger i att indexet är en relativt grov beskrivning av den storskaliga strömningen. Höga positiva värden förknippas med västvindar över Nordatlanten, höga negativa värden med ostvindar. Om det råder nord- eller sydvindar är värdena närmare noll men det är svårt att avgöra vilken vindriktningen är bara genom att titta på NAO-index.

Det finns en rad andra index som också kan användas för att beskriva den storskaliga atmosfäriska cirkulationen. På global skala är El Niño/Southern Oscillation (ENSO), vilket beskriver förhållanden framför allt över Stilla Havet, ett av de viktigaste. Men ENSO har inte någon större signifikant påverkan på Sveriges klimat och väder (Ivsić et al., 2021). För vår del är det istället andra index som till exempel ”East Atlantic/Western Russia” (EAWR, se t ex. Barnston and Livezey (1987)) vilket i sin positiva fas är förknippat med mindre nederbörd i stora delar av landet än i medeltal. För vintern innebär höga värden på EAWR höga temperaturer i Sverige. Ett annat index är det skandinaviska ”Scandinavian pattern” (SCA) som i sin positiva fas också är förknippat med mindre nederbörd än i medeltal. För sommaren innebär positiva värden på SCA varma förhållanden i Skandinavien. Även om dessa index kan användas för att förklara delar av variabiliteten i Sveriges klimat för vissa månader (exv. Marshall et al., 2020) så gäller för året som helhet att förklaringsgraden är lägre än för NAO-index. Vi har därför valt att fokusera på NAO-index och studerar inte dessa eller andra index i den här rapporten.

För att studera den storskaliga strömningen i mer detalj har meteorologer utöver olika typer av övergripande index också under lång tid arbetat med olika typer av mer detaljerade klassificeringar av vädermönster. Här kan till exempel nämnas ”Grosswetterlagen” från Tyskland eller ”Lamb weather types” från Storbritannien som utvecklades under omkring mitten av 1900-talet (Bauer et al., 1944; Lamb, 1950). En rad olika studier har gjorts där olika många ”cirkulationstyper” eller ”väderregimer” har identifierats med olika metoder (exv. Hertig och Jacobeit, 2014). Ett stort antal metoder har utvecklats och använts genom åren, se Philipp et al. (2010) för en översikt. Genomgående visar studierna att tydliga samband mellan olika väderlägen och till exempel temperatur- och nederbörds klimat går att fastställa men att resultaten är känsliga för val av metod. För svensk del har t ex Busuioc et al. (2001) visat samband mellan storskalig atmosfärscirkulation och nederbörds mönster. Metoderna har också använts för att undersöka skillnader i klimat mellan olika perioder. I det sammanhanget har, utöver själva klassificeringen, metoder använts för att skilja på bidragen från ändringar i frekvens av olika cirkulationstyper och ändringar i väder givet en viss cirkulationstyp (t ex Barry och Perry, 1973).

2 Syfte

Den här rapporten bidrar till att beskriva den pågående klimatförändringen. Vi undersöker i vilken grad ändringar i den storskaliga atmosfäriska cirkulationen kan bidra till att förklara skillnader i temperatur och nederbörd för Sverige mellan de två normalperioderna 1961–1990 och 1991–2020. I analysen undersöker vi dels i vilken grad förändring i temperatur och nederbörd skiljer sig åt för olika cirkulationstyper, och dels i vilken grad frekvensen av dessa cirkulationstyper har ändrats. Med hjälp av NAO-index gör vi också en jämförelse med tidigare perioder tillbaka till 1900-talets början. Analyserna görs helt baserat på observationer och återanalysdata men metodiken är generell och kan också användas för scenarier för framtida klimat eller för mer djupgående analyser av förändringar i till exempel extremhändelser.

3 Metod och data

3.1 Observationsdata

NAO-index kan beräknas med hjälp av skillnaden i lufttryck mellan två specifika orter, ofta används Reykjavik och Lissabon. Ett sådant stationsbaserat index är enkelt att beräkna och en fördel är att det bara kräver data från två observationsstationer vilket gör att indexet kan beräknas även för historiskt klimat. NAO-index från CRU (Climate Research Unit vid University of East Anglia) i Storbritannien (Jones et al., 1997) täcker in närmare 200 år. En nackdel med ett stationsbaserat NAO-index är att det inte tar hänsyn till den geografiska utbredningen av NAO-aktiviteten, vars centrum kan flyttas mellan olika geografiska positioner. Detta kan istället uppnås i till exempel en empirisk ortogonal funktionsanalys (EOF) som utgår från hela tvådimensionella tryckfält (Hurrell, 2003). En sådan NAO-analys ger generell en högre förklaringsgrad vid jämförelser mot till exempel temperatur eller nederbörd då det på ett mer realistiskt sätt motsvarar rådande väderläge. En nackdel med den metoden är att tvådimensionella fält inte finns tillgängliga för lika lång period. Här har vi främst använt ett EOF-baserat NAO-index från National Center for Atmospheric Research (NCAR, 2020) med data från 1899 till och med 2020. Detta har jämförts mot det stationsbaserade indexet från CRU enligt ovan.

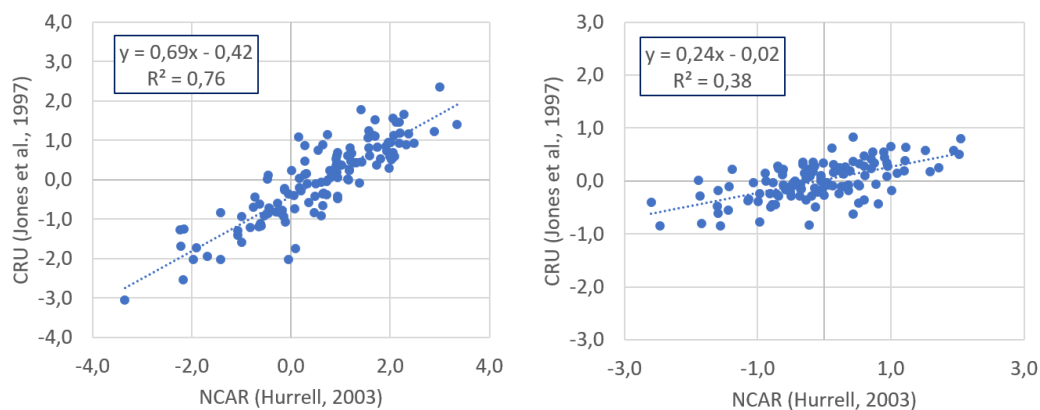
För temperatur- och nederbördsdata har vi använt ett areellt månadsmedelvärde för Sverige baserat på de referensstationer som ingår i beräkningarna av SMHI:s klimatindikatorer. För temperatur handlar detta om 35 stationer som går tillbaka till 1861. För nederbörd är det cirka 50 stationer från 1900 och drygt 80 stationer efter 1910.

Vi har också använt data från ERA5 (Hersbach et al. 2020) som är globala återanalysdata från Europeiska Centret för medellånga väderprognoser (ECMWF). Här har vi använt temperatur, nederbörd samt lufttryck reducerat till havsytans nivå där trycket använts för klassificering av vädertyper. I analyserna har ERA5-data från 1 januari 1961 till och med 26 november 2020 använts.

Slutligen har vi också använt data för norra halvklotets medeltemperatur för att göra jämförelser med temperaturutvecklingen i Sverige under 1961–2020. Data är tagna från HadCRUT5 som är globalt dataset baserat på observationer griddade till 5° x 5° upplösning (Morice et al., 2021).

3.2 Regression av temperatur och nederbörd mot NAO

I Figur 1 jämförs de två typerna av NAO-index för varje enskilt år från 1899 till och med 2019, som är den överlappande perioden för vilka data finns i båda serierna. Figuren visar att de två olika indexen har hög samvariation under vintern och att korrelationsgraden är lägre under sommaren. Den förklarade variansen är 76% för vintern och 38% för sommaren. Dessa siffror är också representativa för enstaka månader med som högst 77% i januari och februari och som lägst 34% i augusti.



Figur 1. Korrelation mellan EOF-baserade (NCAR) och stationsbaserade (CRU) NAO-index för DJF (vänster) och JJA (höger) för perioden 1900–2019. Indexen är normaliserade och dimensionslösa.

I jämförelser med temperatur i Sverige är korrelationen något högre för det EOF-baserade indexet än för det stationsbaserade. Till exempel noterar vi 55% förklarad varians av mellanårsvariationerna för vintern jämfört med 42% för det stationsbaserade indexet, samt 40% respektive 12% på våren. För sommar och höst är skillnaderna mellan indexen små. För nederbörd är korrelationen med NAO låg för alla årstider oavsett vilket NAO-index som används. Eftersom korrelationen med temperatur är högre för det EOF-baserade indexet används detta genomgående för analyserna i den här rapporten.

I analysen har vi gjort en regressionsanalys av temperatur och nederbörd mot NAO-index för varje enskild månad och för de fyra tremånaderssäsongerna december-februari (DJF), mars-maj (MAM), juni-augusti (JJA) och september-november (SON). Analyserna har gjorts dels för hela perioden 1899–2020 och dels för de fyra perioderna 1901–1930, 1931–1960, 1961–1990 och 1991–2020. Regressionsanalysen har gjorts utan att först ta hänsyn till eventuella trender i de olika tidsserierna.

3.3 Klassificering av cirkulationstyper

Baserat på dagliga ERA5-data för marktryck reducerat till havsytans nivå har vi för varje månad under 60-årsperioden 1961–2020 gjort en klassificering i tio olika cirkulationstyper med hjälp av SANDRA-metoden så som den applicerats av Hansen och Belušić (2021). SANDRA-metoden går ut på att de tvådimensionella fälten för marktryck jämförs med varandra och att fält som liknar varandra grupperas i kluster där medlemmarna ligger relativt nära varandra (Philipp et al, 2007). Innan klassificeringen har vi först tagit bort medelvärdet av fältet så att klassificeringen görs på marktrycksanomalier. För varje kluster (cirkulationstyp, CT) och månad har vi sen i varje punkt räknat ut medelvärden av marktryck samt avvikelserna mot månadsmedelvärdet för temperatur och nederbörd. På så sätt kan man undersöka vilka cirkulationstyper som ger upphov till kalla eller varma förhållanden respektive nederbördsrika eller torra förhållanden.

Vi har sen jämfört 1961–1990 med 1991–2020 för att undersöka om frekvensen av de olika cirkulationstyperna har ändrats mellan de två perioderna. Utöver det har vi också undersökt i vilken grad temperatur och nederbörd ändrats mellan de två perioderna inom respektive cirkulationstyp. Uppdelningen i frekvensrelaterade ändringar respektive ändringar inom cirkulationstyper har gjorts enligt Barry och Perry (1973) där den klimatologiska skillnaden för de olika variablerna mellan två perioder ΔC ges av:

$$\Delta C = \sum_{i=1}^G [\Delta F_i(C_i + \Delta C_i)/n + F_i \Delta C_i/n] \quad (1)$$

där

G = antalet cirkulationstyper (här 10)

F_i = frekvensen av cirkulationstyp i under första perioden

$F_i + \Delta F_i$ = frekvensen av cirkulationstyp i under andra perioden

n = antal tidsenheter under första perioden

C_i = klimatologiskt medelvärde för temperatur respektive nederbörd för varje cirkulationstyp i under första perioden

$C_i + \Delta C_i$ = klimatologiskt medelvärde för temperatur respektive nederbörd för varje cirkulationstyp i under andra perioden

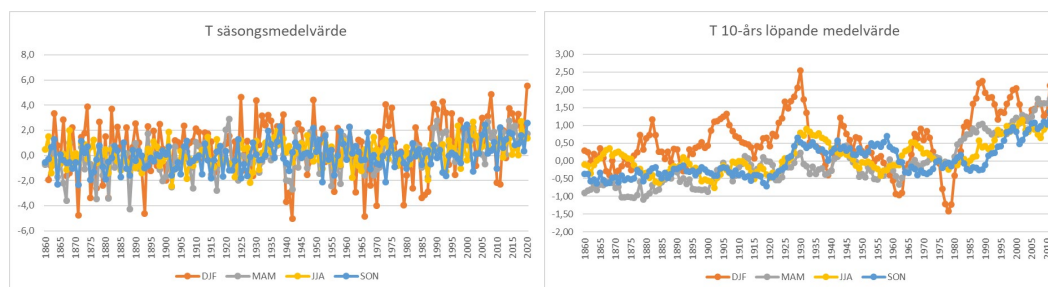
Med hjälp av den här klusteranalysen kan vi undersöka i vilken grad klimatförändrings-signalen kan kopplas till förändring i frekvens av vissa cirkulationstyper eller om förklaringen ligger i förändringar inom respektive cirkulationstyp. Vi kan alltså både svara på frågan om de i medeltal mildare vintrarna under de senaste 30 åren beror på ändring i antalet vintrar som dominerats av milda luftmassor från Atlanten och frågan om den typen av vintrar blivit varmare i sig. Är ett visst väderläge varmare idag än för 30 år sedan?

4 Resultat

4.1 Variationer i temperatur och nederbörd

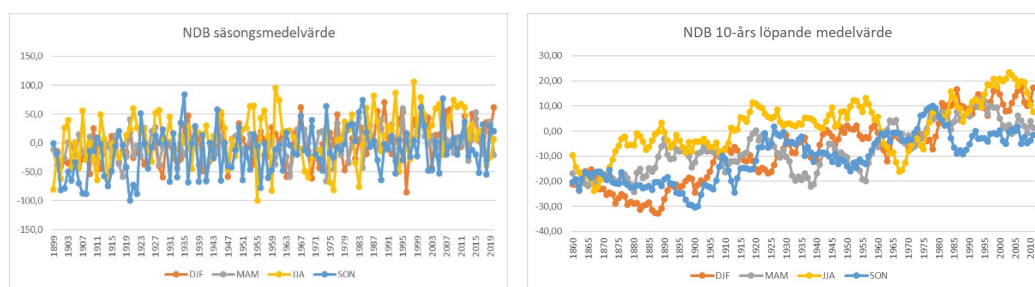
Både temperatur och nederbörd uppvisar stor variation för samtliga säsonger (Figur 2 och 3). Variationerna är stora både mellan åren (vänstra delfigurerna) och på längre tidsskalor som decennium (högra delfigurerna) eller 30-årsperioder vilket tydliggörs genom jämförelser av samtliga fem 30-årsperioder från 1871–1900 och framåt (Tabell 1).

För temperaturen är mellanårsvariabiliteten störst under vintern. Skillnaden mellan kallaste och varmaste åren inom de olika 30-årsperioderna är mellan 6,3–9,4 grader. Motsvarande för sommaren är 2,6–4,3. För vår och höst är det senaste decenniet det hittills allra varmaste (Figur 2). Även för vinter och sommar syns höga värden för senaste decenniet. I ett 30-årsperspektiv är den senaste 30-årsperioden den varmaste för alla årstider (Tabell 1). Ur Figur 2 framgår också att det var relativt varmt på 1920- och 1930-talen med undantag av våren. För vintern återfinns till exempel den hittills allra varmaste 10-årsperioden här. De kalla vintrarna på 80-talet, liksom de milda vintrarna på 1990-talet, syns också tydligt.



Figur 2 Temperaturavvikelser (°C) i Sverige relativt 1961–1990 för de fyra tremånaders-årstiderna (DJF, MAM, JJA, SON) under perioden 1860–2020. Den vänstra bilden visar värden för varje enskilt år. Den högra visar 10-års löpande medelvärde där året på tidsaxeln markerar startpunkt för respektive 10-årsperiod.

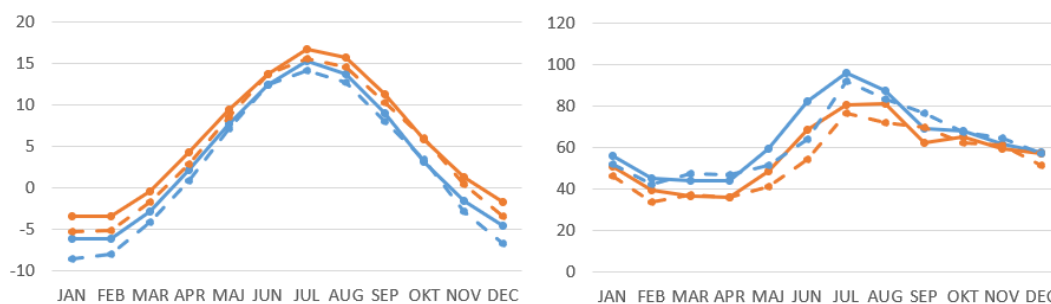
För nederbörden är mellanårsvariabiliteten (uttryckt som standardavvikelsen dividerat med medelvärdet) ungefär 20–25% för alla säsongerna (Tabell 1). Precis som för temperatur finns variabilitet också på längre tidsskalor. Till exempel syns ett stort antal relativt nederbördsfattiga somrar på 1960- och 70-talen liksom avsaknaden av nederbördsrika höstar på 1980-talet. Nederbörden har ökat långsiktigt i landet. För 30-årsperioderna i Tabell 1 är ökningen från varje enskild period till nästa i medeltal närmare 6% på helårsbasis. För 1991–2020 är årsmedelnederbörden 684 mm jämfört med 539 mm för 1871–1900. Vi noterar här att det finns en osäkerhet kring hur pass representativa äldre nederbördsdata är kopplat både till instrumentering och rapportering. De låga värdena på 1800-talet kan därför vara en underskattning av den faktiska nederbörden. Den senaste 30-årsperioden är också mest nederbördsrik för alla enstaka säsonger utom hösten som var något mer nederbördsrik 1961–1990. För alla enstaka årstider finns dock decennier som relativt sett är mer nederbördsrika än det senaste (Figur 3).



Figur 3 Nederbördsavvikelser (mm) i Sverige relativt 1961–1990 för de fyra tremånaders-årstiderna (DJF, MAM, JJA, SON) under perioden 1860–2020. Den vänstra bilden visar värden för varje enskilt år. Den högra visar 10-års löpande medelvärde där året på tidsaxeln markerar startpunkt för respektive 10-årsperiod.

Tabell 1. Medeltemperatur (°C) och nederbörd (mm) i Sverige. För temperatur anges ±1 standardavvikelse (SD), för nederbörd anges variationskoefficienten (CV) som är standardavvikelsen dividerad med medelvärdet (anges i %).

Period	Årstid	Temperatur		Nederbörd	
		Medel ± SD	Min/max	Medel ± CV	Min/max
1871– 1900	DJF	-4,5 ± 2,4	-9,4 / -0,7	98 ± 22	65 / 151
	MAM	2,5 ± 1,3	-1,1 / 4,9	98 ± 26	60 / 149
	JJA	14,5 ± 0,8	13,2 / 15,8	188 ± 19	122 / 258
	SON	5,2 ± 0,9	3,2 / 6,7	154 ± 23	77 / 234
1901– 1930	DJF	-3,9 ± 1,5	-6,3 / 0,0	113 ± 18	73 / 158
	MAM	2,9 ± 1,3	0,4 / 6,1	105 ± 22	57 / 155
	JJA	14,3 ± 1,1	12,1 / 16,4	204 ± 18	129 / 263
	SON	5,2 ± 1,0	3,8 / 6,9	159 ± 26	93 / 244
1931– 1960	DJF	-3,9 ± 2,2	-9,7 / -0,2	128 ± 22	74 / 181
	MAM	2,9 ± 1,4	0,5 / 5,2	99 ± 21	51 / 132
	JJA	14,9 ± 0,8	13,4 / 16,6	213 ± 20	103 / 298
	SON	5,9 ± 1,1	3,5 / 7,9	174 ± 24	116 / 277
1961– 1990	DJF	-4,6 ± 2,6	-9,5 / -0,5	133 ± 26	72 / 203
	MAM	3,2 ± 1,1	1,4 / 5,9	115 ± 26	49 / 158
	JJA	14,6 ± 0,8	12,7 / 16,1	203 ± 20	122 / 285
	SON	5,6 ± 0,9	3,5 / 7,9	193 ± 17	129 / 267
1991– 2020	DJF	-2,8 ± 2,0	-6,9 / 0,9	148 ± 23	47 / 195
	MAM	4,4 ± 1,0	2,5 / 5,9	120 ± 20	84 / 174
	JJA	15,4 ± 1,0	13,3 / 17,3	229 ± 17	153 / 309
	SON	6,3 ± 1,2	3,9 / 8,2	188 ± 18	139 / 269

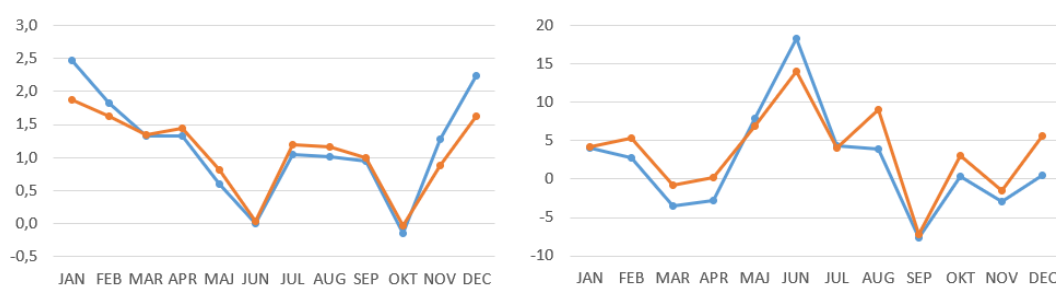


Figur 4 Årstidsvariation i temperatur (vänster) och nederbörd (höger) baserat på SMHI:s observationer (orange) och återanalysdata från ERA5 (blå). Heldragna linjer motsvarar 1991–2020, streckade 1961–1990. Enheter: °C för temperatur och mm / månad för nederbörd.

Säsongvariationerna i temperatur och nederbörd speglas också i återanalysdata. I Figur 4 visas en jämförelse av de stationsbaserade Sverigemedelvärdena (se ovan) med motsvarande ytmedelvärde för hela Sverige baserat på ERA5. De stora dragen är snarlika i de båda dataseten, framför allt är årstidsvariationerna mycket lika. För temperatur gäller dock att ERA5 konsekvent ger lägre temperaturer för samtliga månader och för nederbörd visar ERA5 generellt mer nederbörd. Vi har inte analyserat skillnaderna i detalj här, men ett par faktorer som kan bidra till skillnad i nederbörd handlar dels om en underrepresentation av nederbörd i observationer under vintern (Rubel och Hantel, 2001) och dels om att observationsstationerna inte täcker in hela Sveriges yta. Täckningen är relativt låg i fjällkedjan där nederbörsmängderna är stora. Nederbördsuppskattningen från återanalysen å andra sidan är inte baserad på observationer utan ett resultat av modellberäkningar med en väderprognosmodell. Även om modellen genom så kallad

dataassimilation ”tvingas” komma nära det verkliga tillståndet i atmosfären kan modellen producera för mycket eller för lite nederbörd, särskilt i områden med få observationer. Underrepresentationen av observationsstationer i fjällkedjan och landets norra delar är möjligen en av huvudanledningarna till skillnaden i temperatur mellan de två dataseten.

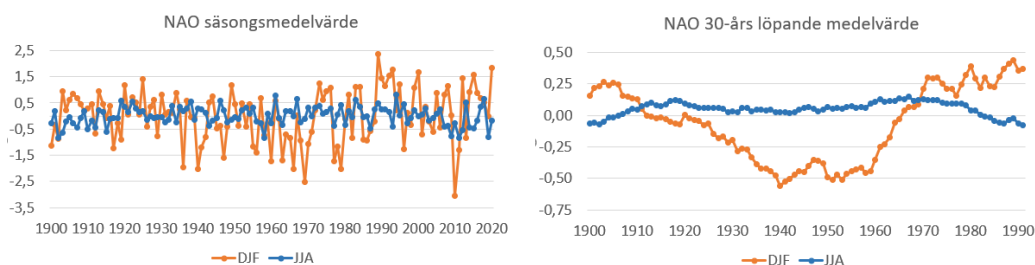
I Figur 5 visas skillnader mellan de två normalperioderna för de båda dataseten per månad. Vi noterar att förändringen mellan de två normalperioderna är ungefär lika stor i de båda dataseten. För temperatur är avvikelserna som mest 0,6°C i december och januari. Årsmedeltemperaturen ökar med +1,1°C enligt observationerna och +1,2°C enligt ERA5. Även för nederbörd är skillnaderna relativt små med ett par millimeter per månad. För augusti och december när skillnaderna är som störst handlar det om ca 5 mm per månad vilket för december är ca 10% av totala nederbördsmängden. För årsmedelvärdet ger den observationsbaserade skattningen en ökning om drygt 6% medan ERA5 visar drygt 3% ökning.



Figur 5 Skillnad mellan 1991–2020 och 1961–1990 för Sverigemedel enligt SMHIs observationer (orange) och återanalysdata från ERA5 (blå) för temperatur (vänster) och nederbörd (höger). Enheter: °C för temperatur och mm / månad för nederbörd.

4.2 Variationer i NAO-index

NAO-index uppvisar en oregelbunden variation med omväxlande höga och låga värden vilket speglar vädrets växlingar. Såväl korrelationen från en månad till nästa som den mellan en viss månad ett år och motsvarande månad nästa år, är båda mycket låga. Det finns alltså inga starka klimatologiska samband mellan NAO-index i två på varandra följande månader eller mellan två enstaka år och bara för att det är höga eller låga värden en viss månad eller säsong finns det mycket lite som pekar på att detta kommer att gälla även under nästa månad eller säsong. Detta gäller för alla säsonger. Till exempel är den förklarade variansen mindre än 20% mellan två på varandra följande vintermånader (här nov-dec, dec-jan, jan-feb och feb-mar) och i princip noll för resten av året.



Figur 6 NAO-index för vinter (DJF) och sommar (JJA) under perioden 1900–2020. Den vänstra bilden visar värden för varje år. Den högra visar 30-års löpande medelvärde där årtalet markerar startpunkt för respektive 30-årsperiod.

Den stora variabiliteten i NAO-index mellan olika år framgår tydligt i Figur 6. Vid medelvärdesbildning över allt längre perioder från månad och säsong till år eller årtionde slätas variationerna ut (notera att skalorna är olika i de båda delfigurerna). I figuren syns också att NAO-index under längre perioder i medeltal kan domineras av positiva eller negativa värden. Till exempel framgår att det var förhållandevis få vintrar som dominerades av negativt NAO-index under de första decennierna av 1900-talet medan dessa var vanliga under 1960-talet och att förhållandevis många vintrar haft dominans av positivt NAO-index från omkring 1990 och framåt. Figuren visar dock att det även under dessa perioder förekommit enskilda säsonger med avvikande NAO-index jämfört med det som dominerat under en viss period. Till exempel kan vi notera vintern 2009/2010 med det allra lägsta värdet för hela tidsserien i en period när många vintrar präglats av positiva värden.

Variationerna avspeglas även i långtidsmedelvärden där till exempel både de första och sista decennierna av 1900-talet i medeltal haft höga värden på NAO-index under vintern medan låga värden dominerat under perioden däremellan (Figur 6). För sommaren är variationerna, såväl mellan åren som de långsiktiga trenderna, mindre utpräglade än under vintermånaderna. Ett något lägre långtidsmedelvärde syns i början av 1900-talet liksom i slutet av perioden. Resultaten visar att även vid jämförelser av klimatet för så långa perioder som 30 år kan alltså NAO-index markant skilja sig åt. I Tabell 2 och 3 ges 30-årsmedelvärden av NAO-index för de fyra säsongerna samt för varje enskild månad. Tabellerna visar att 1991–2020 i medeltal hade högre NAO-index under vinterhalvåret (här samtliga månader november-april) än perioden 1961–1990. För övriga året är det tvärtom, det vill säga med i medeltal lägre värden under 1991–2020. På säsongsbasis syns den största skillnaden för vintern. Tabellerna visar också att perioden 1931–1960 liknade 1961–1990 vad gäller NAO-index, dock med ytterligare något mer negativa förhållanden för våren. Perioden 1901–1930 skiljer sig markant från 1931–1960 och 1961–1990 och har för alla säsonger NAO-index i paritet med det som observerats för 1991–2020. NAO-anomalierna på 30-årsbasis är i medeltal störst under årets tre första månader samt för oktober.

Tabell 2. Långtidsmedelvärde av NAO-index för de fyra årstiderna.

	DJF	MAM	JJA	SON
1901–1930	0,22	0,08	-0,06	-0,06
1931–1960	-0,28	-0,20	0,02	0,06
1961–1990	-0,25	0,02	0,13	0,07
1991–2020	0,32	0,12	-0,07	-0,13

Tabell 3. Långtidsmedelvärde av NAO-index för årets månader.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN
1901–1930	0,34	0,29	0,22	0,03	-0,02	-0,02
1931–1960	-0,37	-0,45	-0,61	0,10	-0,09	-0,04
1961–1990	-0,33	-0,26	0,16	-0,16	0,07	0,22
1991–2020	0,31	0,44	0,28	0,03	0,04	-0,15
	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
1901–1930	-0,06	-0,09	-0,07	-0,06	-0,04	0,02
1931–1960	0,06	0,04	0,03	0,27	-0,11	-0,01
1961–1990	0,10	0,06	0,07	0,19	-0,05	-0,12
1991–2020	-0,09	0,02	-0,09	-0,42	0,12	0,17

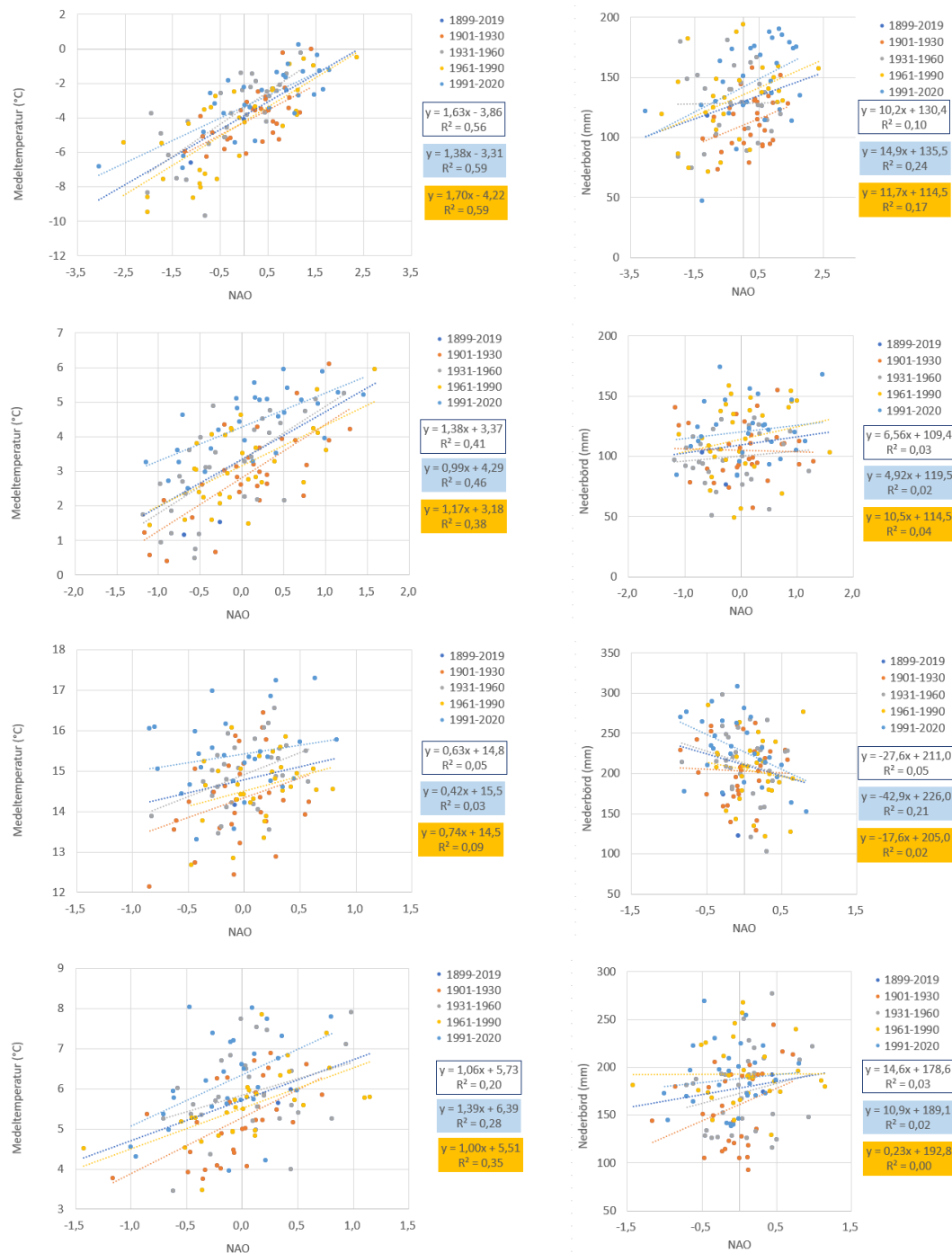
4.3 Samvariation av NAO-index och temperatur och nederbörd i Sverige

Regressionen mellan NAO-index och temperatur och nederbörd visar olika grad av samvariation för olika säsonger och olika 30-årsperioder. Graden av variabilitet i temperatur och nederbörd som kan förklaras med NAO-index varierar mellan säsonger och över tid. NAO-index förklarar i snitt mellan 50 och 60% av mellanårsvariabiliteten i temperatur under vintersäsongen. För enstaka månader är värdena som regel över 40% för hela perioden december-mars med maxvärde i mars om cirka 70% för ett par av de studerade 30-årsperioderna. Under sommarhalvåret faller graden av förklarad mellanårsvariabilitet till mycket låga värden, för flera olika 30-årsperioder är den närmare noll för sommarmånaderna. För höst och vinter ligger förklaringsgraden däremellan. För nederbörd är graden av förklaring generellt lägre än för temperatur. För december till mars från ca 10% i februari till som mest 35% för januari för 1991–2020.

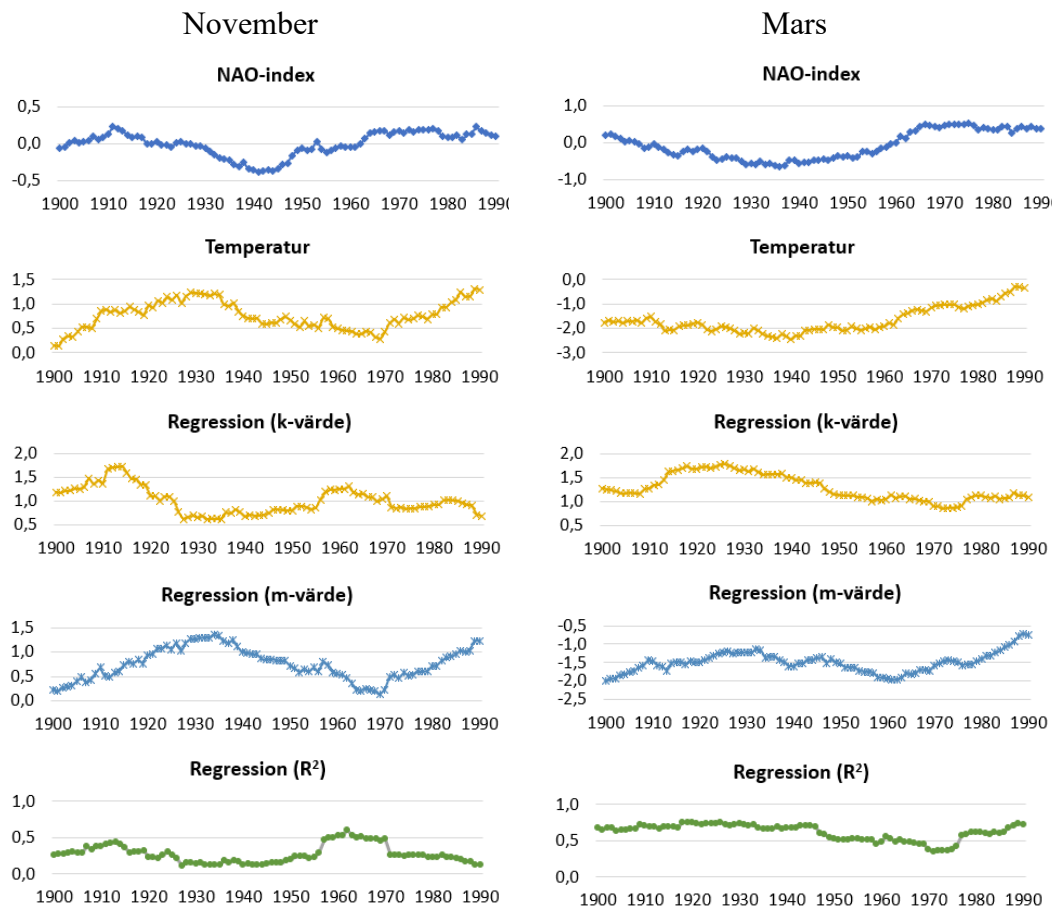
Figur 7 visar hur korrelationen mellan NAO-index och temperatur respektive nederbörd ser ut under de olika årstiderna och hur detta ändrats mellan de fyra 30-årsperioderna. För temperatur framgår att den starkaste positiva korrelationen generellt finns under vintern, följt av vår och höst, medan sommaren bara uppvisar en svag korrelation. För nederbörd finns en positiv korrelation med NAO-index under vintern och en negativ korrelation under sommaren. Dock är förklaringsgraden låg och resultaten skall tolkas försiktigt. För vår och höst är förklaringsgraden i princip noll för nederbörd.

Utöver skillnaderna mellan säsongerna i hur starkt sambandet mellan NAO-index och temperatur/nederbörd är, framgår också att sambanden varierar över tid. Regressionen för de fyra 30-årsperioderna skiljer sig mot varandra och mot regressionen för hela tidsserien. Vi noterar att regressionslinjerna för 1991–2020 i de flesta delfiguren (samt för de individuella månaderna, ej visat) i stor utsträckning ligger ovanför motsvarande linjer för de andra perioderna. Detta är tydligt för alla de andra tre perioderna, inte minst 1901–1930 som är den period som ligger närmast 1991–2020 vad gäller långtidsmedelvärde i NAO. Uppenbarligen kan inte skillnaden mellan de olika 30-årsperioderna förklaras enbart av ändringar i NAO-index. Sambanden visar att för ett givet NAO-index skulle en säsong under 1991–2020 i de flesta fall vara både varmare och mer nederbördsrik än motsvarande säsong med samma NAO-index för någon av de tidigare perioderna.

För alla årets månader har NAO-index uppvisat långsiktiga variationer sen början av 1900-talet. Löpande 30-årsmedelvärden varierar mellan ca 0 och 1,4 i januari och februari som är de månader som i medeltal har högst NAO-värde. Motsvarande variation mellan ca -1,0 och ca 0,1 finns för juni, september och oktober som är de månader som i medeltal har lägst NAO-index. Som exempel på långsiktiga variationer visar Figur 8 hur regressionen mellan temperatur och NAO-index på 30-årsbasis ändrats över tid för november och mars vars NAO-värden i medeltal ligger mellan de ovan nämnda. Månaderna är också intressanta då de representerar övergången höst-vinter och vinter-vår och alltså kan vara känsliga för förändringar förknippade med att snösäsongen blir allt kortare vilket kan tänkas förstärka temperaturändringar. För båda månaderna har temperaturen ökat med drygt en grad sen början av 1900-talet (1,2°C för november och 1,3°C för mars) till idag. För november syns en ökning under första halvan av 1900-talet, följt av en minskning och sen ytterligare en ökning. För mars är ökningen mer jämn från och med mitten av 1900-talet och det finns ingen ökning dessförinnan. För november har NAO-index i medeltal varierat mellan ungefär -0,4 och +0,2. För mars har NAO-index de senaste decennierna legat strax över nivån i början av 1900-talet. Däremellan har värdena varit något lägre med minimum omkring mitten av förra seklet.



Figur 7. Sveriges medeltemperatur (vänster) och nederbörd (höger) som funktion av NAO-index för vintern (DJF – överst), våren (MAM), sommaren (JJA) och hösten (SON – nederst). Resultatet av regressionsanalys mellan NAO-index och medeltemperatur respektive nederbörd visas till höger där den inramade rutan motsvarar 1899–2020 och de gula och blåa rutorna motsvarar 1961–1990 samt 1991–2020. Ekvationer för räta linjen med riktningskoefficient (k -värde) och skärningspunkt med y -axeln (m -värde) anges samt korrelationskoefficienten (R^2).



Figur 8. Löpande 30-årsmedelvärden av NAO-index (dimensionslöst) och Sveriges medeltemperatur ($^{\circ}\text{C}$) för november (vänster) och mars (höger). De tre nedre figurerna visar hur en linjär regression mellan NAO och T ändras över tid där k -värdet är räta linjens riktningskoefficient och m -värdet representerar skärningspunkten med y -axeln. Korrelationskoefficienten (R^2) visas i den nedersta figuren. Årtalen på x -axeln markerar startpunkt för respektive 30-årsperiod.

För november syns en ökande korrelation mellan NAO-index och temperatur under de första decennierna av 1900-talet med en maximal förklaringsgrad om närmare 50%. I takt med att temperaturen höjs med ca en grad fram till mitten av seklet faller korrelationen ner mot närmare noll och lutningen på regressionslinjen minskar kraftigt. Under de följande decennierna faller novembertemperaturen med drygt en halv grad varvid korrelationen ökar igen, nu till drygt 50%. Under decennierna sker en ny temperaturökning med närmare en grad varvid korrelationen minskar kraftigt. Resultaten för november pekar alltså på ett starkare samband mellan NAO-index och temperatur för de kallare perioderna i början av seklet och för perioden från 1950-talet och ett par decennier framåt. Situationen i dagens klimat liknar situationen kring 1930-talet och framåt med låg korrelation mellan medeltemperaturer och NAO-index.

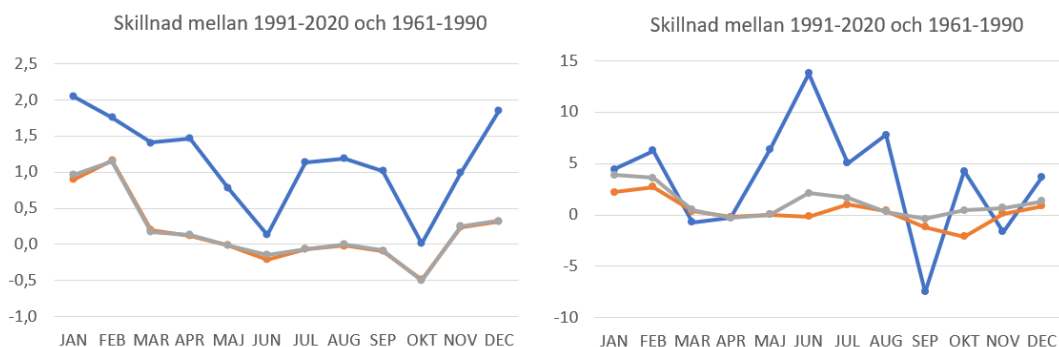
För mars sjunker temperaturen något fram till mitten av seklet för att därefter stiga med närmare två grader till idag. Delar av ökningen sammanfaller med ökningen i NAO-index men de senaste decennierna fortsätter temperaturökningen samtidigt som NAO-index minskar något. Korrelationen mellan NAO-index och medeltemperatur är relativt hög (60–75%) under första halvan av perioden. Därefter faller den ner mot som lägst knappt 40% för att återigen öka till närmare 75% idag. Dagens k -värde och regressions-

koefficient är lika de i början av 1900-talet dock med väsentligt högre m-värde. För båda dessa perioder är alltså samvariationen mellan temperatur och NAO-index ungefär densamma förutom vad gäller temperaturnivåerna som är väsentligt högre i dag.

4.4 Till vilken grad kan ändringar i NAO-index förklara ändringarna i temperatur och nederbörd?

En direkt jämförelse mellan 1991–2020 och 1961–1990 visar att den senare perioden är varmare för varje kalendermånad utom juni och oktober då skillnaden är nära noll (Fig. 9, blå linje). Skillnaden är som mest drygt 2°C för januari. I Tabell 3 visas att 1991–2020 jämfört med 1961–1990 präglats av högre värden på NAO-index under alla månader från november till april. Hur stor roll spelar det för skillnaden i temperatur och nederbörd mellan de två perioderna?

För att ta reda på det använder vi regressionsanalyser baserat på tidsserien 1961–2020 för att beräkna temperatur och nederbörd givet de observerade värdena på NAO-index för varje enskilt år. Därefter jämför vi 30-årsmedelvärden från observerad temperatur och nederbörd med motsvarande medelvärden beräknat utifrån regressionen mot NAO-index (grå linje). Resultaten blir liknande men inte identiska om en annan regressionsanalys väljs som utgångspunkt. I figuren finns också inlagt motsvarande värden baserat på hela tidsserien 1899–2020 (orange) och det är klart att skillnaderna är små mellan de två.

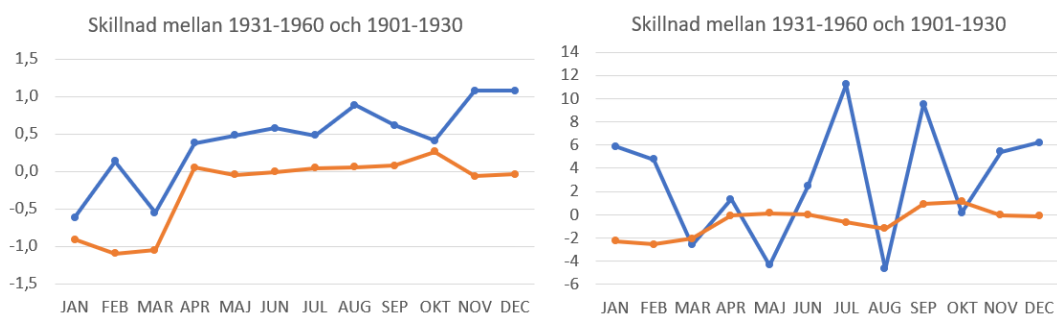


Figur 9. Skillnad i Sveriges medeltemperatur (vänster, °C) och nederbörd (höger, mm/månad) mellan 1991–2020 och 1961–1990 enligt observationer (blå) och enligt beräkningar där regressionsanalysen mot NAO-index för tidsperioden 1961–2020 (grå) respektive 1899–2020 (orange) ligger till grund.

Den NAO-baserad temperaturskillnaden mellan de två perioderna varierar mellan knappt +1,2°C (februari) och -0,5°C i (oktober), se grå/orange linje i vänstra delfiguren i Figur 9. För de flesta månaderna är skillnaden mellan de två perioderna liten eftersom skillnaden i NAO-index är liten. Skillnaderna i observerad temperatur är som regel väsentligt större och visar tydligt att 1991–2020 är varmare än den NAO-baserade rekonstruktionen för alla månader. Det är alltså klart att ändringar i NAO-index på 30-årsskalan inte kan förklara hela den temperaturökning som observerats (blå linje i Figur 9). För februari kan nästan två tredjedelar av temperaturskillnaden mellan perioderna förklaras av att NAO-värdena i medeltal var mer positiva 1991–2020 än under 1961–1990. Motsvarande för mars är ungefär en tiondel. För både juni och oktober ger den NAO-baserade temperaturanalysen att temperaturen 1991–2020 borde varit lägre än under 1961–1990. För båda månaderna visar observationerna också förhållandevis låg temperatur då den var ungefär samma som i den tidigare perioden och en tolkning är alltså att skillnader i storskalig cirkulation i medeltal hållit ner temperaturen för dessa båda månaderna under 1991–2020. I medeltal över året är skillnaden mellan observationer och den NAO-baserade temperaturen 0,97°C mellan de två perioderna.

För nederbörd visar alla månader utom mars, april, september och november högre nederbörd under 1991–2020 än 1961–1990 (blå linje i högra delfiguren i Figur 9). I medeltal har årsnederbörden ökat med 40 mm mellan de två perioderna. Den stora ökningen fångas inte av den NAO-baserade nederbörden som visar på en ökning om cirka 3 mm (grå/orange linje i högra delfiguren i Figur 9).

På motsvarande sätt visas i Figur 10 skillnaderna mellan 1931–1960 och 1901–1930 enligt observationer och enligt den NAO-baserade rekonstruktionen. NAO-index under 1931–1960 skiljer sig från 1901–1930 främst under januari till mars (Tabell 3). Den NAO-baserade temperaturskillnaden visar att 1931–1960 borde varit ungefär en grad kallare än 1901–1930 under årets tre första månader till följd av mer NAO-negativa förhållanden. För oktober är motsvarande värde drygt 0,25°C varmare och för resten av året är skillnaderna små. Enligt observationerna var alla månader utom januari och mars varmare under 1931–1960. För dessa båda månader pekar analysen på att skillnader i NAO-index kan ha bidragit till ungefär halva temperaturskillnaderna mellan perioderna. I medeltal för hela året är skillnaden i temperatur 0,64°C. För nederbörden visar den NAO-baserade skillnaden på relativt små avvikelser med bland annat något mindre vinternederbörd under 1931–1960 och en viss förhöjning under september och oktober. Liksom mellan de två senaste 30-årsperioderna är de faktiska skillnaderna i nederbörd mycket större och det finns ingen korrelation till hur NAO-index skiljer sig mellan perioderna för de olika månaderna.

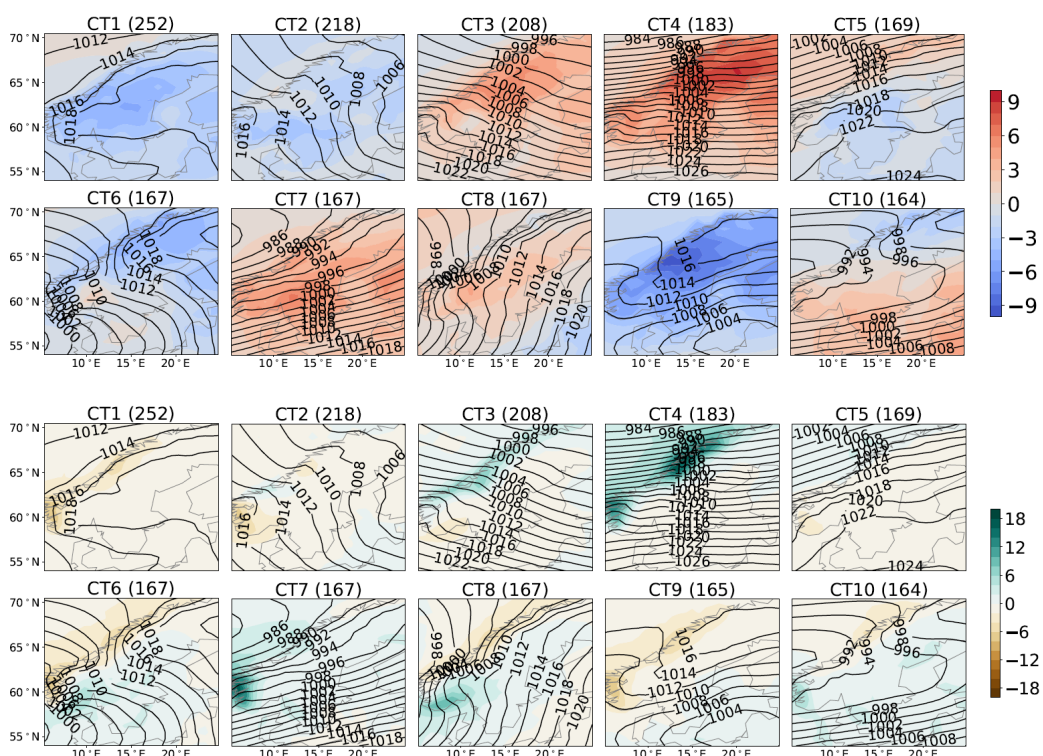


Figur 10. Skillnad mellan 1931–1960 och 1901–1930 i Sveriges medeltemperatur (vänster, °C) och medelnederbörd (höger, mm/månad) enligt observationer (blå) och enligt beräkningar där regressionsanalysen mot NAO-index för hela tidsperioden 1899–2020 ligger till grund (orange).

4.5 Klusteranalys av cirkulationstyper baserat på den storskaliga atmosfäriska strömningen

Klusteranalysen av cirkulationstyper baserat på alla dagar från perioden 1961–2020 resulterar i distinkt olika tryckmönster för Skandinavien vilket illustreras för januari i Figur 11. I Figur 12 visas motsvarande låddiagram för alla dagar i 60-årsperioden uppdelat per cirkulationstyp för NAO-index samt Sverigemedelvärde för temperatur och nederbörd i januari och juli. I Figur 13 visas kartor för juli. Figurerna är uppställda så att den cirkulationstyp (CT) som råder under flest dagar klassificeras som cirkulationstyp nummer 1 (CT1) för den månaden, det med näst flest medlemmar CT2, och så vidare. Eftersom analysen är gjord separat för varje kalendermånad är de olika cirkulationstyperna inte exakt desamma och frekvensen av dagar som hör till respektive cirkulationstyp kan skilja sig mellan månaderna. Det här betyder att en cirkulationstyp som identifieras som det vanligaste i en månad och därmed klassificeras som CT1 kan ha en mycket snarlik motsvarighet som i en annan månad rankas som till exempel CT4.

Cirkulationstyperna för de olika månaderna uppvisar stora likheter med varandra (inte visat). Särskilt gäller det halvårsvis där både vinter- och sommarmånaderna inbördes är mycket snarlika. Under höst och vår sker en övergång mellan sommar och vintermönster.



Figur 11. Tio cirkulationstyper (CT1-CT10) identifierade genom klusteranalys av den storskaliga cirkulationen för alla januardagar under perioden 1961–2020. Frekvensen anges som antal medlemmar (av totalt 1860) inom parentes. Isolinjerna visar ett medelvärde av lufttrycket (hPa) över medlemmarna i varje cirkulationstyp. Färgerna i kartorna relaterar till temperaturavvikelser (°C, övre delfiguren) och nederbördsavvikelser (mm, nedre delfiguren) där avvikelserna är beräknade mot månadsmedelvärdet över alla cirkulationstyper.

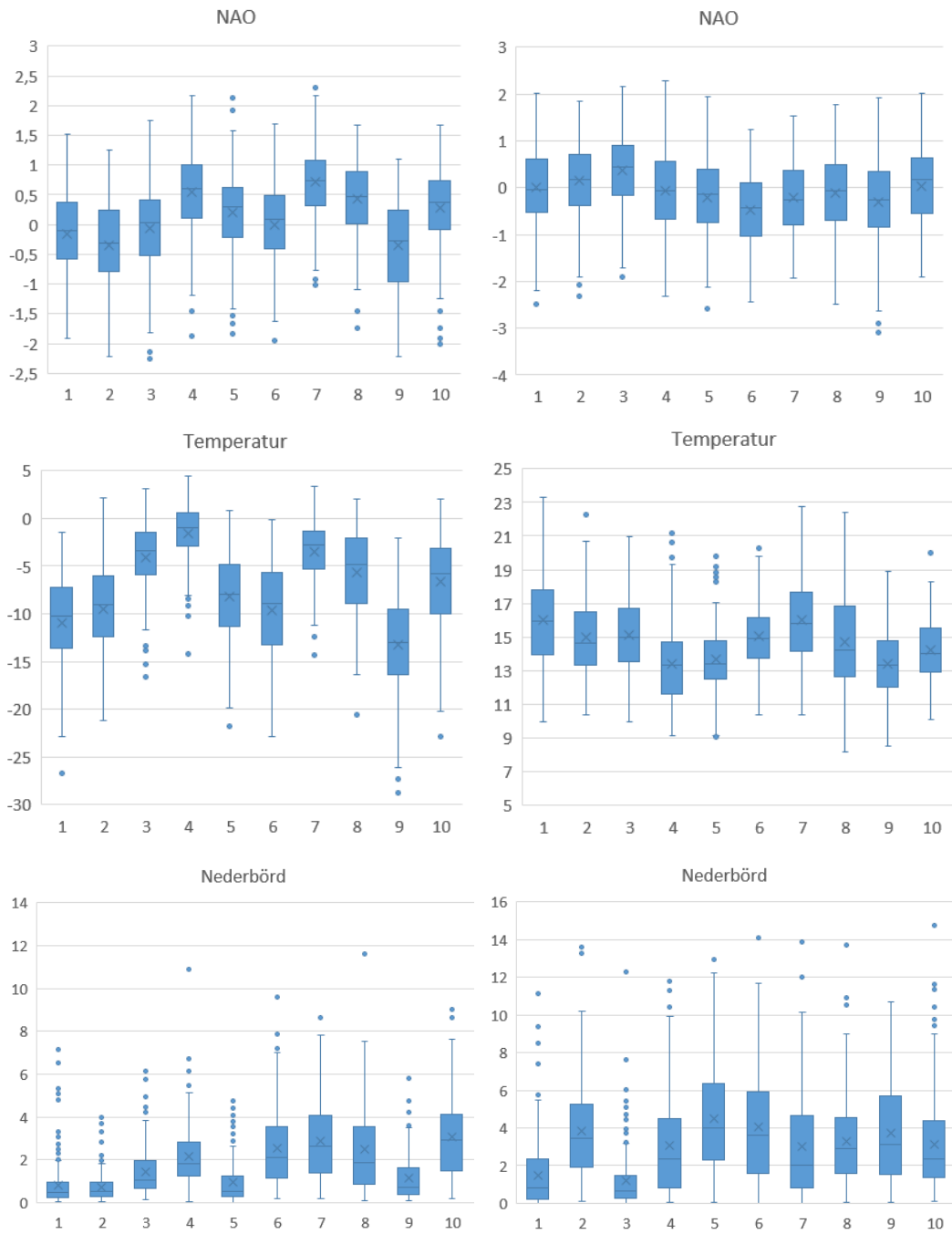
För januari beskrivs den vanligaste cirkulationstypen (CT1) av en högtrycksrygg som sträcker sig ut över Finland och Skandinavien med svaga vindar omkring ost till nordost över södra halvan av Sverige och med vindar från syd till sydväst över fjällkedjan och allra längst i norr (Fig. 11). Situationen är förknippad med kalla förhållanden för i stort sett hela landet medan nederbörden är genomsnittlig på de flesta ställen. Sett som medelvärde över hela landet (Fig. 12) är detta den näst kallaste av de tio cirkulationstyperna. CT9 har en liknande tryckbild men Sydsverige är inte lika präglad av högtrycksryggen och det råder väsentligt starkare ostvindar över större delen av landet. Temperaturerna är i genomsnitt lägre än i CT1 för hela landet medan nederbörden är större än genomsnittet i landets sydöstra delar vilket också syns i medelvärdet för hela landet. CT6 visar också på en situation med en högtrycksrygg längst i norr men nu med mer ostliga vindar, eller sydostliga längst i söder. Även för denna cirkulationstyp är det kallare än i medeltal längst i norr men i söder är temperaturerna högre. För landet som helhet är detta i medeltal en av de kallaste cirkulationstyperna. Nederbörden är större än i genomsnitt, särskilt i nordvästra Götaland och delar av södra Norge.

Som stark kontrast visar CT3, CT4 och CT7 situationer med mer eller mindre starka vindar omkring nordväst (CT3), väst (CT4) och sydväst (CT7) och temperaturöverskott

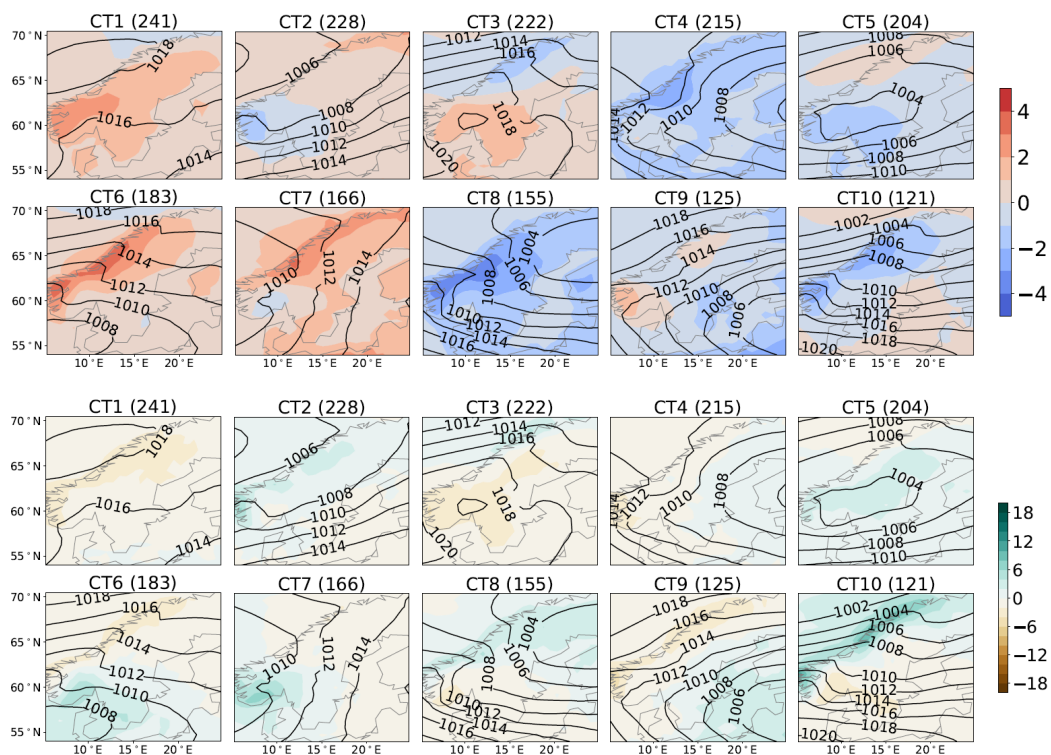
över hela landet. Nederbörden faller till stor del i Norge förstärkt av fjällkedjan i norr (särskilt CT4) men detta är ändå den cirkulationstyp som ger mest nederbörd i hela landet följt av CT7 med orografisk förstärkning från sydsvenska höglandet i söder. I CT5 råder högtrycksdominerat väder och det är kallare än medeltal i söder samtidigt som lågtrycken över Atlanten går i en nordligare bana vilket ger vindar omkring sydväst i norra Sverige med ett visst temperaturöverskott allra längst i norr. Den här cirkulationstypen är också förknippad med relativt lite nederbörd för landet som helhet. I CT10 är lågtrycksbanan förskjutet åt söder och Sydsverige ser då starka vindar omkring sydväst, höga temperaturer och nederbördsöverskott. Längre norrut dominerar betydligt svagare vindar som längst i norr vrider över mot ost. Ett visst temperatur- och nederbördsöverskott syns i stora delar av landet utom allra längst i norr för temperatur och i fjällkedjan för nederbörd. CT2 är förknippad med nordvindar och kalla förhållanden över hela landet utom i delar av fjällkedjan där temperaturerna håller sig nära medelvärdet. Det är också i delar av fjällkedjan som nederbörden är något över genomsnittet, i övrigt ligger den nära medelvärdet i hela landet. Slutligen konstaterar vi att CT8 är förknippad med vindar omkring syd vilket resulterar i temperatur och nederbörd över medelvärdet för månaden.

Figur 12 visar tydligt att inte bara medelvärdena skiljer mellan de olika cirkulationstyperna utan att hela fördelningen av temperatur och nederbörd skiljer sig åt. För temperatur går det exempelvis att se att de kallaste cirkulationstyperna (CT1 och CT9) uppvisar en större variation än de mildaste (CT4 och CT7). Det går också att se att de allra varmaste och kallaste dagarna tenderar att gruppera sig i vissa cirkulationstyper. Till exempel återfinns de allra kallaste dagarna i CT9 och CT1. Trots det kan enstaka kalla dagar dyka upp även i samband med en cirkulationstyp som i medeltal är förknippad med varmare väder som CT10 i det här exemplet för januari. För nederbörd ser vi att de allra nederbördsrikaste dagarna som regel är förknippade med CT6, CT7, CT8 och CT10 som alla representerar transport av luftmassor från söder eller sydväst. Diagrammen bör tolkas med försiktighet vad gäller extremer då dataseten är begränsade.

Figur 12 visar också att NAO-index varierar relativt mycket för de olika cirkulationstyperna. För januari framgår att de utpräglade västvindssituationerna i CT4 och CT7 mestadels är förknippade med positiva NAO-index och att CT9 och CT2 är de där negativt NAO-index är vanligast. För en del andra cirkulationstyper, till exempel CT3 och CT6, syns en spridning i NAO-index kring nollan, det vill säga med antingen negativa eller positiva värden. Situationen med NAO-index på båda sidor om nollan är mer utpräglad för sommaren då detta gäller i varierad grad för alla cirkulationstyper.



Figur 12. Lådidiagram som visar dagliga data av NAO-index samt Sverigemedelvärde i temperatur (°C) och nederbörd (mm/dag) från ERA5 för de 10 olika cirkulationstyperna (1–10. Data representerar alla januari- (till vänster) och julidagar (till höger) från hela perioden 1961–2020. Lådorna visar kvartilavståndet mellan första och tredje kvartilen och däremellan finns ett vågrätt streck som markerar medianen. Punkter som ligger utanför 1,5 gånger längden på interkvartilavståndet från första eller tredje kvartilen räknas som utliggare och markeras med en punkt. Längden på whiskers definieras av högsta eller lägsta värdet som inte är en utliggare. Kryssen i respektive diagram motsvarar medelvärdet.



Figur 13. Tio cirkulationstyper (CT1-CT10) identifierade genom klusteranalys av den storskaliga cirkulationen för alla julidagar under perioden 1961–2020. Frekvensen anges som antal medlemmar (av totalt 1860) inom parentes. Isolinjerna visar ett medelvärde av lufttrycket (hPa) över medlemmarna i varje cirkulationstyp. Färgerna i kartorna relaterar till temperaturavvikelser (°C, övre delfiguren) och nederbördsavvikelser (mm, nedre delfiguren) där avvikelserna är beräknade mot månadsmedelvärdet över alla cirkulationstyper.

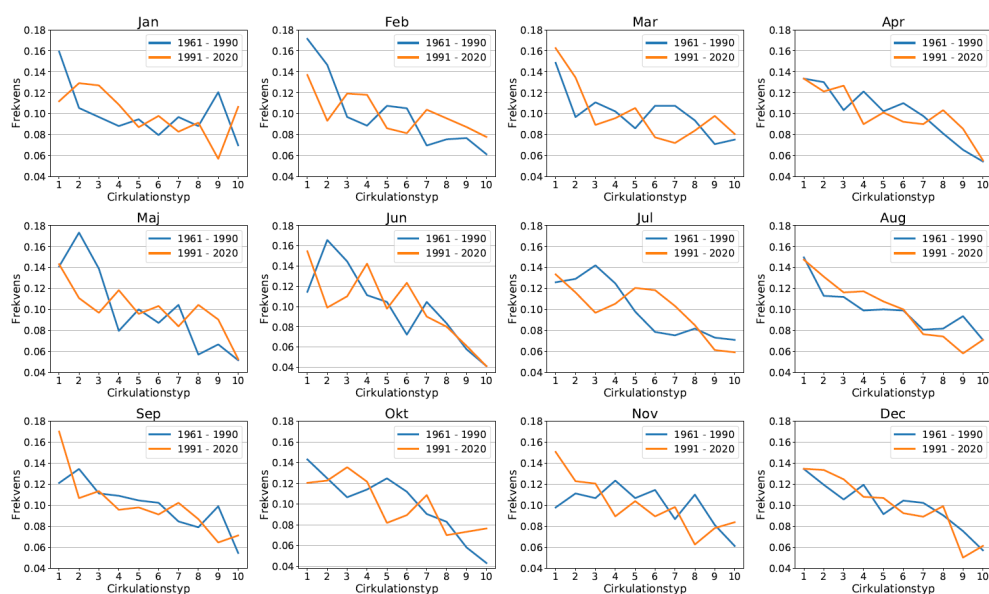
I sommarsituationen visar resultaten för juli (Figur 13) liksom för januari väsentligt olika strömningslägen för de olika cirkulationstyperna. Generellt framgår också överlag högre lufttryck, svagare tryckgradienter och därmed svagare vindar än under vintern. De mest högtrycksdominerade väderlägena syns i CT1 och CT3 med temperaturöverskott i hela landet utom för nordligaste fjällkedjan i CT3 med påverkan från lågtryck norr om Skandinavien. I det området är också nederbörden över medelvärdet, i övrigt under. CT5 är lågtrycksdominerad med nederbördsöverskott och kyliga förhållanden i hela landet utom längst i norr där fjällen kan få ett visst temperaturöverskott. Lågtrycken dominerar längst i norr i CT8 med mer nederbörd än i genomsnitt. Nordvindarna väster om lågtrycket för med sig kylig luft ner över hela Skandinavien. Lågtrycksdominerat väder över Nordatlanten väster om Skandinavien präglar CT2, och CT10 norr om Skandinavien. Båda ger upphov till vindar omkring väst till sydväst över stora delar av landet med kallare väder än i medeltal. För CT2 syns en tydlig skillnad i nederbörd mellan västra Götaland och östra Götaland samt Svealand, med överskott i väster. I CT10 ger västvindarna i söder inte något nederbördsöverskott i söder då mycket av luften strömmat över södra Norge varvid nederbörden fällt ut redan där. I CT6 och CT7 finns lågtrycken i sydväst respektive väster om Skandinavien vilket ger vindar omkring ost respektive sydost över landet. Med detta följer relativt varma förhållanden och lite nederbörd i norra delen av landet medan delar av Sydsverige får ett nederbördsöverskott. CT7 är också den cirkulationstyp som tillsammans med CT1, är varmast för landet i medeltal (Figur 12). I CT4 och CT9 hittar vi lågtrycken längre österut med vindar mer omkring nord eller nordost över landet. För båda är det relativt svalt över landet vilket också avspeglar sig i medelvärdet över hela landet (Figur 12). Undantag finns i delar av fjällkedjan och

nordvästra Götaland i CT9. I båda fallen är det generellt mer nederbörd än i medeltal i landets östra delar.

4.6 Vad säger klusteranalysen om skillnaderna mellan 1961–1990 och 1991–2020?

I avsnittet ovan visar vi att de distinkt olika cirkulationstyper som visas i Figur 11 och 13 har en stark påverkan på vårt temperatur- och nederbörds klimat. Här undersöker vi hur detta kan ha påverkat skillnader mellan de två normalperioderna 1961–1990 och 1991–2020. Är det så att skillnader i frekvens av de olika cirkulationstyperna kan förklara de skillnader i nederbörd och temperatur som vi observerat? NAO-analysen ovan indikerar att ändringar i storskalig cirkulation kan vara en delförklaring till detta. Här kan vi undersöka detta i mer detalj.

I Figur 14 visas frekvensanalys för de olika cirkulationstyperna för varje månad men nu uppdelad på de två perioderna 1961–1990 och 1991–2020. Notera att numreringen av cirkulationstyperna är individuell för varje månad så att det inte går att jämföra mellan månader, bara inom varje månad. Figuren visar tydligt att frekvensen av de olika cirkulationstyperna i stora drag är lika mellan de två perioderna. Till exempel framgår att CT1 är vanligast för båda perioderna i både februari, mars, april, augusti och december och att CT10 är ovanligast i båda för februari, april, maj, juni och juli. Även i andra fall är cirkulationstyper som är vanliga i ena perioden generellt vanliga också i den andra perioden. Men, det finns undantag som t ex CT9 i januari som var ungefär dubbelt så vanligt under 1961–1990 som under 1991–2020. Eftersom det är den kallaste cirkulationstypen (Figur 11) kan vi förvänta oss en inverkan även på 30-årsmedelvärdet. För juli syns på motsvarande sätt att CT3 var mycket vanligare under 1961–1990 medan CT6 var väsentligt vanligare under 1991–2020. Även här finns skillnader i temperatur och nederbörd (Figur 13) vilket kan bidra till skillnaderna mellan normalperioderna.

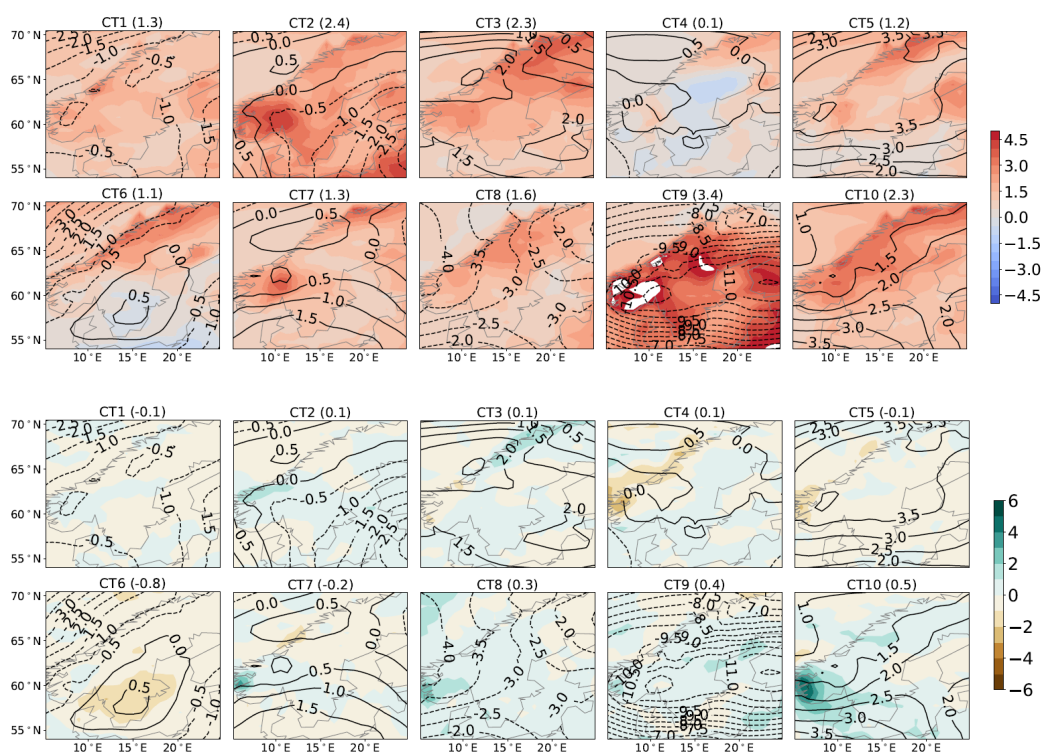


Figur 14. Frekvensen av de olika cirkulationstyperna (1–10) för varje månad för 1961–1990 och 1991–2020.

För respektive cirkulationstyper undersöker vi nu skillnaden i temperatur och nederbörd mellan de två perioderna. Figur 15 visar detta för januari. Figur 16 visar låddiagram över dagliga data för respektive cirkulationstyp men nu uppdelat på de två 30-årsperioderna.

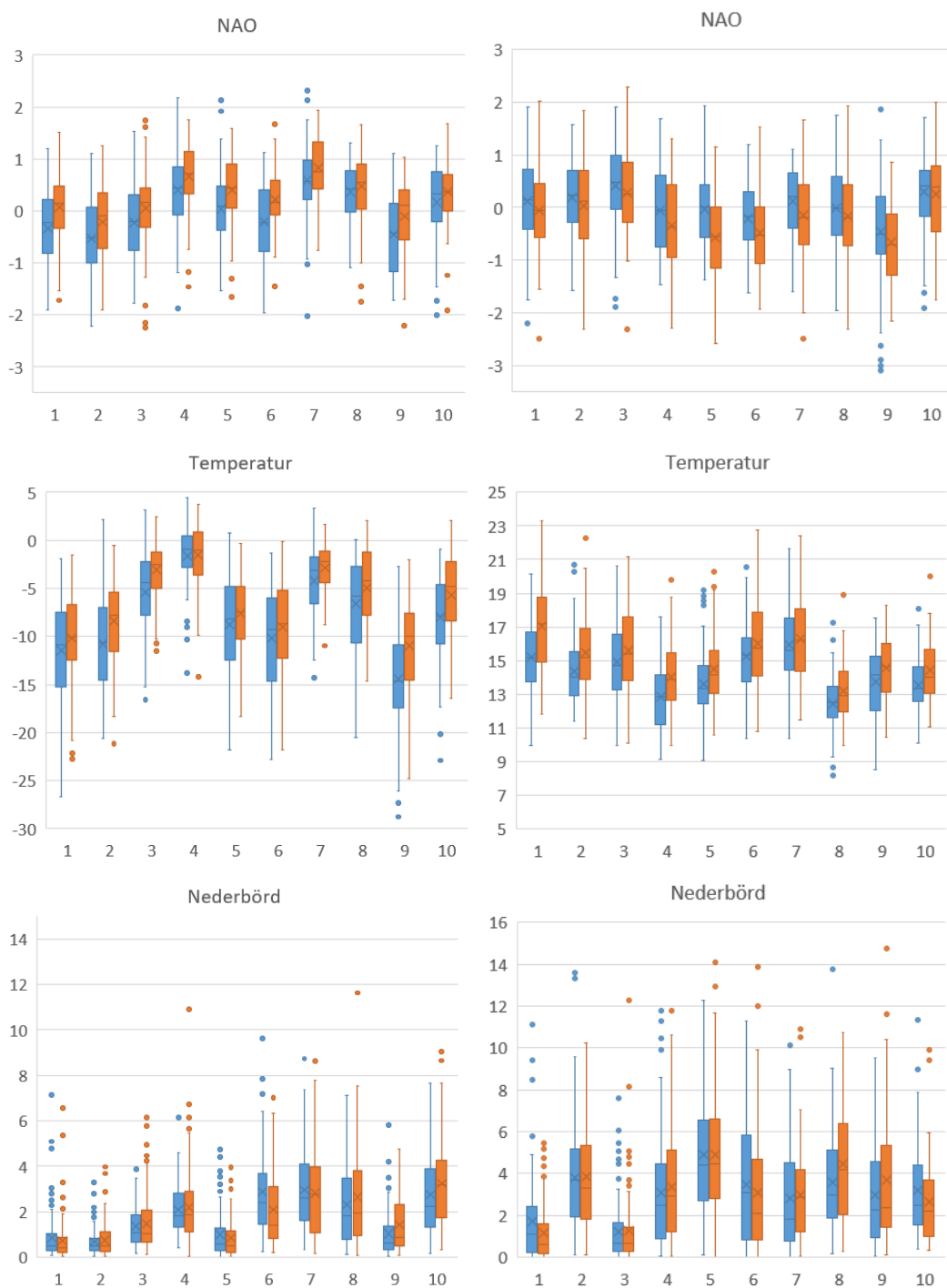
För alla cirkulationstyper syns en viss ändring i marktrycket mellan de två perioderna. Oftast är tryckskillnaderna mellan de två perioderna relativt små. Men vi noterar att högtrycksryggen för januari i CT9 (Figur 11) är väsentligt försvagad i den andra perioden. I övrigt förskjuts till exempel högtrycket i CT5 norrut medan lågtrycket i CT8 blir något mer utpräglat.

Utöver förändringarna i marktryck så framgår också att i majoriteten av cirkulationstyperna har det blivit varmare i hela landet under den andra perioden (Fig. 15). Ett undantag är CT4 för vilken den andra perioden präglas av något svagare nord-sydlig tryckgradient utanför norska kusten vilket ger svagare västvindar in över Skandinavien. Det påverkar både nederbörden, som minskar längs kusten väster om fjällkedjan, och temperaturen som inte blir lika hög öster om fjällkedjan. För landet som helhet är dock medelvärdet ungefär lika stort i de båda perioderna (Figur 16). I delar av Götaland och södra Svealand syns också en viss minskning i temperaturen mellan de två perioderna för CT6 vilket hänger samman med att högtrycksryggen som sträcker sig in över landet från nordost är något mer utpräglad. Detta bidrar också till mindre nederbörd. Med de två undantagen för CT4 och CT6 noterar vi att det oavsett väderläge för januari i medeltal varit högre temperaturer under 1991–2020 jämfört med 1961–1990 i hela landet. Detta gäller alltså såväl i högtrycksdominerade situationer som i CT1 och CT9 (och i CT6 i norra Sverige), som i CT2 där nordvindar dominerar strömningen, och i CT8 då sydvindar sätter sin prägel på vädret. Det gäller också i de västvindsdominerade situationerna CT3, CT5 (norra delen av landet), CT7 och CT10 (södra delen av landet) med undantag av CT4 enligt ovan.



Figur 15. Skillnad mellan 1991–2020 och 1961–1990 i temperatur och marktryck (övre delfiguren) och nederbörd och marktryck (nedre delfiguren) för de olika cirkulationstyperna (CT1-CT10) för januari. Ändringarna i marktryck ges av isolinjerna med heldragna linjer för ökat marktryck och streckad linje för minskningar. Siffran inom parentes visar medelvärdet för Sverige. Färgskalorna visar på ändringar i temperatur (°C) och nederbörd (mm/månad).

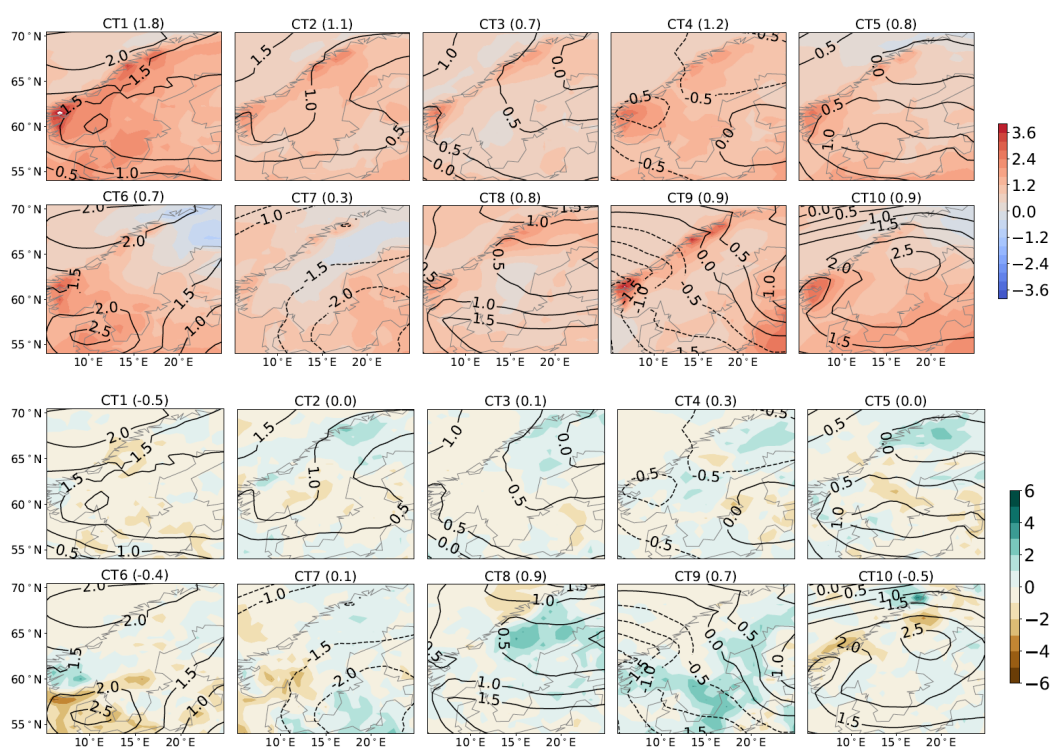
Figur 16 visar också en tydlig förändring mellan perioderna i temperaturvariabiliteten för varje cirkulationstyp. I och med att det blivit varmare i januari har variabiliteten som regel gått ner. För nio av tio cirkulationstyper är både standardavvikelsen och interkvartilavståndet (blåa boxen i låddiagrammen) mindre under 1991–2020 än under 1961–1990. En närmare titt på varför interkvartilavståndet minskar visar att den första kvartilen (som avgränsar de 25% kallaste dagarna) ökar mer än den tredje kvartilen (som avgränsar de 25% varmaste dagarna). Diagrammet visar alltså att temperaturförändringen generellt är större för de kallaste dagarna.



Figur 16. Som Figur 12 men uppdelat på 1961–1990 (blå) respektive 1991–2020 (orange). Diagrammen till vänster representerar januari och de till höger juli.

För nederbörden är skillnaderna på vintern som störst längs norska västkusten (Fig. 15). Det kan knytas till att bergskedjan förstärker tendenser till minskning och ökning då vindriktning och vindhastighet ändras. Också förändringar i atmosfärens halt av vattenånga, vilket till stor del styrs av avdunstning över havet, kan spela in. Över Sverige noterar vi särskilt ökad nederbörd i samband med CT10 då lågtryck rör sig in från Atlanten över södra Skandinavien. Även i CT9 då situationerna med utpräglade kalla högtryckslägen blivit väsentligt mildare syns ökad nederbörd bland annat över stora delar av Norrland, särskilt längs kusten. Då detta är typiskt kalla vädersituationer är en stor del av den extra nederbörden troligen i form av snö. Även i sydvindsdominerade CT8 har nederbörden ökat i stor del av landet. Eftersom detta är milda vintersituationer är delar av den ökningen sannolikt i form av regn. Alla de här tre ökningarna i nederbörd, i CT8, CT9 och CT10, är förknippade med att tryckgradienterna blivit något starkare vilket leder till kraftigare vindar och därmed större fukttransport och mer nederbörd.

Nederbördens variabilitet skiljer sig också mellan de två tidsperioderna (Fig. 16). Men till skillnad från temperaturen finns inte samma tydliga systematiska förändring som för temperatur. Flera cirkulationstyper uppvisar en viss ökning i spridningen mellan nederbördsfattiga och nederbördsrika dagar representerad av kvartilavståndet men det finns också några som visar på mindre variabilitet i den senaste 30-årsperioden.



Figur 17. Skillnad mellan 1991–2020 och 1961–1990 i temperatur och marktryck (övre delfiguren) och nederbörd och marktryck (nedre delfiguren) för de olika cirkulationstyperna (CT1-CT10) för juli. Ändringarna i marktryck ges av isolinjerna med heldragna linjer för ökat marktryck och streckad linje för minskning. Siffran inom parentes motsvarar ett medelvärde över Sverige. Färgskalorna visar på ändringar i temperatur (°C) och nederbörd (mm/månad).

Även för juli syns en tydlig ökning i medeltemperaturen för nästan alla cirkulationstyper i hela landet (Figur 17). Undantagen är CT6 och CT7 med en mindre temperatursänkning över delar av norra Norrland. För CT7 indikerar figuren försvagad sydlig luftströmning över landet eftersom den ost-västliga tryckskillnaden minskar. Detta kan ha bidragit till de lägre temperaturerna i norr och också till de mindre nederbördsmängderna i de västra delarna av landet. För CT6 är det mer oklart men figuren visar på en viss ökning i tryckgradienten längst i norr och därmed starkare nordostligare vindar över Nordkalotten vilket skulle kunna föra in mer kall luft från Norra Ishavet. För den högtrycksdominerade CT1 syns kraftigt ökad temperatur i hela landet med maximum längs hela fjällkedjan och över sydöstra Sverige. I CT1 minskar nederbörden i större delen av landet. Även för lågtrycksdominerade cirkulationstyper som CT4, CT5, CT6 (längst i sydväst), CT8 (i nordost) och CT9 (i sydost) har temperaturen ökat liksom i CT2 när större delen av landet berörs av vindar omkring sydväst. Nederbörden minskar mest i samband med att lågtrycket i sydväst i CT6 försvagas i den andra perioden. De största nederbördsökningarna ses i närheten av lågtrycken i norr i CT8 i samband med ökande ostvindar och i samband med att lågtrycket över Baltikum i CT9 förskjuts åt sydväst.

Även variabiliteten inom respektive cirkulationstyp har förändrats. Figur 16 visar att temperaturvariabiliteten ökat för de flesta cirkulationstyper. Till exempel är interkvartilavståndet större i sju cirkulationstyper i andra perioden jämfört med första. För de övriga (CT4, CT5 och CT9) är skillnaderna små. Liksom för januari finns för nederbörden cirkulationstyper som visar antingen ökad eller minskad variabilitet.

4.7 Skillnader för Sverige som helhet mellan 1991–2020 och 1961–1990

Resultaten ovan visar på tydliga förändringar i temperatur- och nederbörds klimat för respektive cirkulationstyp. Det är alltså klart att förändringar mellan de två perioderna till stor del beror på ändringar i temperatur- och nederbörds klimatet för respektive typ av vädersituationer. En möjlig felkälla skulle kunna vara systematiska ändringar i när under en viss månad en viss vädersituation inträffar. Särskilt under vår och höst är skillnaderna i temperatur mellan början och slut av månaden stora. Om en viss cirkulationstyp i medeltal inträffar vid olika tid i de två perioderna skulle det därför kunna få konsekvenser för analysen. För att undersöka detta visar vi i Tabell 4 skillnaden i dagnummer för när en viss cirkulationstyp i medeltal inträffar för varje månad. Skillnaden kan vara flera dagar för vissa cirkulationstyper, men i de flesta fall är skillnaderna relativt små. Bara i ett fåtal fall handlar det om mer än tre dagars skillnad vilket motsvarar ett par tiondels grader vid en skillnad i temperatur mellan början och slutet av en månad på ett par grader. Den allra största skillnaden inträffar för CT10 i juni där det skiljer hela 8 dagar mellan de två perioderna. Vi noterar också att de flesta lite större skillnaderna inträffar för cirkulationstyper med högre nummer och påminner om att låga nummer avser de vanligaste cirkulationstyperna. Eftersom det är färre medlemmar i CT8–CT10 än CT1–CT3 så får enstaka avvikelser större betydelse, och dagnumret kan ändras till följd av variationer under ett fåtal säsonger. Samtidigt betyder en förskjutning i antal dagar för en ovanlig cirkulationstyp att påverkan på medelvärdet för hela månaden blir mindre än om motsvarande förskjutning i antal dagar rör en vanligt förekommande typ.

Tabell 4. Skillnad i dagnummer för när respektive cirkulationstyp (CT1–CT10) i medeltal inträffar för varje månad. Gulmarkerade fält indikerar mer än två dagar tidigare under 1991–2020 jämfört med 1961–1990. Grönmarkerade mer än två dagar senare.

	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10
JAN	0,8	1,4	1,8	-0,2	1,6	-1,9	0,5	-4,4	1,7	-2,5
FEB	-1,7	-0,8	1,1	-0,3	0,2	-1,0	1,8	1,9	1,1	1,3
MAR	1,8	1,1	-2,8	1,6	5,1	-4,5	-1,9	-3,7	-0,2	2,6
APR	1,7	0,9	0,4	2,1	0,4	0,3	-2,4	-1,9	-0,8	-3,7
MAJ	-0,9	-2,3	2,2	-0,2	-0,6	1,1	3,1	-3,0	0,7	0,2
JUN	-1,2	1,9	0,0	-0,1	1,0	-0,3	-0,9	0,3	2,4	-8,0
JUL	0,6	-1,9	-0,9	-1,1	0,2	-0,2	1,2	-0,1	0,7	2,2
AUG	-0,9	-0,1	1,2	-1,0	0,9	0,4	0,7	-3,7	2,1	1,9
SEP	1,6	0,9	-1,0	-2,3	0,9	0,7	-0,7	0,7	-2,4	-0,5
OKT	0,0	-0,8	1,4	0,0	1,1	0,7	0,3	-0,4	1,2	-3,0
NOV	0,8	-1,1	0,5	-1,9	-0,2	1,1	0,6	-1,8	2,1	-1,5
DEC	-1,2	-0,6	2,6	-1,3	-1,1	2,6	-0,3	-2,2	2,7	0,7

Vi har nu konstaterat att de tydliga förändringarna i temperatur- och nederbörds klimat för respektive cirkulationstyp till stor del kan kopplas till ändringar inom respektive cirkulationstyp och att det inte finns några systematiska skillnader i tidpunkt för när respektive vädersituation inträffar. I Tabell 5 visas Sverigemedelvärde för skillnad i medeltemperatur mellan de två tidsperioderna uppdelat på de 10 respektive cirkulationstyperna för varje månad. Av de totalt 120 siffrorna i tabellen visar 91 på en ökning om mer än 0,5°C. Bara åtta visar minskade temperaturer varav endast en på större minskning än 0,5°C. Sammanställningen visar tydligt att det i de allra flesta cirkulationstyper blivit väsentligt varmare. Det är också tydligt att uppvärmningen generellt är större än för Norra halvklotet i medeltal (74 fall av 120). I 29 av 120 fall är uppvärmningen mer än dubbelt så stor.

Figur 16 visade på förändringar även i variabiliteten för januari och juli. I tabell 6 visar vi hur variabiliteten representerad av kvartilavståndet (jämför lådorna i Fig. 16) ändras för samtliga cirkulationstyper och alla månader. I hälften av de totalt 120 kombinationerna syns en ökad variabilitet och i den andra hälften minskad variabilitet. Vidare framträder ett tydligt mönster med minskad variabilitet främst under vintern och ökad variabilitet mer koncentrerad till sommarhalvåret. Variabilitetsminskningen under vintern är i medeltal större än motsvarande ökning på sommaren.

Tabell 5. Skillnad i medeltemperatur (°C) 1991–2020 jämfört med 1961–1990 uppdelat på månad och cirkulationstyp (CT1–CT10). Ljust röda fält indikerar större ökning än för norra halvklotet i medeltal, mörkt rött mer än dubbelt så stor ändring. Blåmarkerade rutor indikerar lägre temperaturer under 1991–2020 än 1961–1991. Längst till höger finns motsvarande värde på temperaturökningen för hela norra halvklotet (NH) från HadCRUT5.

	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10	NH
JAN	1,3	2,4	2,3	0,1	1,2	1,1	1,3	1,6	3,4	2,3	0,74
FEB	1,5	0,7	3,3	1,1	0,5	0,1	0,0	2,8	1,9	0,7	0,80
MAR	1,8	1,5	0,8	0,5	2,1	0,8	0,7	0,6	0,8	1,5	0,78
APR	1,3	1,6	1,2	1,3	1,6	1,5	0,8	1,0	0,5	1,0	0,77
MAJ	1,0	-0,2	0,6	0,7	0,5	1,4	2,2	-0,1	0,3	-0,1	0,66
JUN	0,6	-0,3	0,1	-0,2	0,3	0,1	0,1	0,0	0,6	0,4	0,66
JUL	1,8	1,1	0,7	1,2	0,8	0,7	0,3	0,8	0,9	0,9	0,65
AUG	0,8	1,5	0,5	0,9	1,2	1,1	1,0	0,8	0,4	0,9	0,68
SEP	0,5	1,1	1,1	1,5	0,7	0,7	0,4	1,0	1,9	0,5	0,67
OKT	0,4	0,9	-0,4	0,9	-0,8	0,3	0,2	0,3	-0,4	0,3	0,74
NOV	1,5	1,1	1,1	2,5	1,6	0,8	0,6	1,0	0,3	1,7	0,76
DEC	2,8	0,9	0,2	2,8	1,6	2,1	2,6	1,9	0,7	1,7	0,70

Tabell 6. Skillnad i kvartilavstånd (°C) 1991–2020 jämfört med 1961–1990 uppdelat på månad och cirkulationstyp (CT1–CT10). Färgade fält indikerar en ändring om minst 0,5°C, mörka färger minst 1,0 °C. Rött indikerar större kvartilavstånd, blåa färger mindre.

	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10
JAN	-1,99	-1,27	-1,75	1,21	-2,84	-1,38	-1,52	-0,97	0,14	0,00
FEB	-1,31	0,62	-2,50	0,13	-1,55	-1,12	0,44	-0,63	-0,73	-1,07
MAR	-1,60	-1,20	-1,66	0,09	-1,01	0,62	0,95	-0,59	-0,10	-1,25
APR	0,34	0,47	1,13	-0,78	0,13	-0,77	-0,52	0,65	-1,36	-1,47
MAJ	0,57	1,64	0,18	0,09	1,16	-0,05	3,82	0,88	-0,18	0,23
JUN	-0,35	-0,76	-0,77	0,51	0,11	0,53	-0,45	0,33	0,11	0,72
JUL	0,91	0,44	0,43	-0,20	0,28	0,99	0,74	0,61	-0,54	0,50
AUG	0,49	0,67	-0,21	-0,11	0,36	0,79	1,26	-0,36	0,80	-0,18
SEP	-0,18	-0,38	1,07	-0,50	-0,27	1,48	-0,15	-0,01	0,50	-0,30
OKT	-0,26	0,43	-0,28	1,31	-0,05	0,27	0,08	0,42	-1,37	-0,25
NOV	0,35	-0,07	-0,29	-1,19	0,47	0,21	0,33	-1,45	0,14	-3,76
DEC	0,85	-0,86	-0,67	0,84	-0,45	-0,48	0,99	0,26	-1,62	-0,97

Motsvarande sammanställning för månadsvis ändring i nederbörd visas i Tabell 7 och Tabell 8 för variabilitet. Till skillnad från temperatur är ändringarna i nederbörd inte entydiga. Resultaten antyder en viss övervikt för cirkulationstyper med ökad nederbörd. För 65 av alla 120 kombinationer av cirkulationstyper och månader ökar månadsnederbörden. Även för lite större procentuella skillnader i nederbörd mellan de två perioderna är antalet kombinationer för vilka nederbörden ökar något större än för vilka den minskar. Till exempel ökar nederbörden med mer än 5% i 57 fall med motsvarande minskning med mer än 5% i 38 fall. Motsvarande siffror för nederbördsförändringar på mer än 25% är 16 fall med ökning och 8 fall med minskning.

Även för nederbörd syns ändringar i variabiliteten (Tabell 8). Ungefär lika många cirkulationstyper uppvisar minskningar i variabiliteten som de som visar ökning. Det finns ingen tydlig systematik i skillnader mellan olika årstider som för temperatur även om vi noterar att variabiliteten ökar i förhållandevis många fall i januari och generellt minskar i mars. Det finns inte heller någon koppling mellan ändringar i variabilitet och ändringar i total nederbördsmängd vilket illustreras av att de två matriserna i Tabell 7 och 8 är mer eller mindre helt okorrelerade.

Tabell 7. Skillnad i nederbörd (%) 1991–2020 jämfört med 1961–1990 uppdelat på månad och cirkulationstyp (CT1–CT10). Skillnader större än 10% är grönfärgade för ökning och orangea för minskning. Skillnader större 25% visas i mörkare färger.

	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10
JAN	-14	9	7	5	-14	-27	-5	14	37	18
FEB	-11	-10	7	0	-11	-18	-1	16	0	28
MAR	8	-39	-15	19	-12	10	6	2	0	-2
APR	-26	-13	-11	-7	-5	-4	-12	-3	27	7
MAJ	17	46	3	13	33	25	1	11	25	17
JUN	-3	46	29	38	35	28	3	23	37	16
JUL	-32	1	7	10	0	-12	5	24	25	-16
AUG	18	17	-3	11	-22	7	4	18	5	12
SEP	-41	8	-51	0	4	7	-27	-8	41	-11
OKT	6	6	-4	-8	6	-4	61	14	-10	-47
NOV	-3	-21	-12	-13	-7	-3	-12	10	-3	7
DEC	-2	-10	1	19	12	-11	24	13	3	-16

Tabell 8. Skillnad i variationskoefficient (CV, standardavvikelsen delad med medelvärdet) för nederbörd (%) 1991–2020 jämfört med 1961–1990 uppdelat på månad och cirkulationstyp (CT1–CT10). Färgade fält indikerar en ändring om minst 10%. Grönt indikerar större variabilitet, orange mindre. Skillnader större 25% visas i mörkare färger.

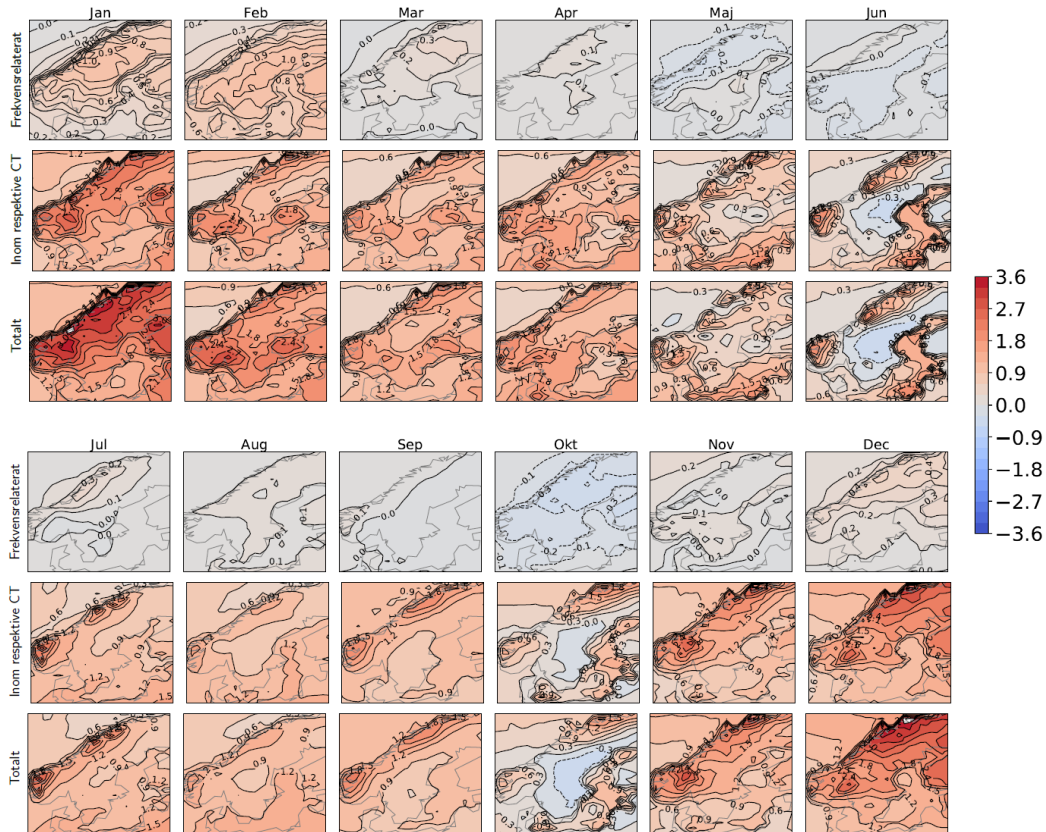
	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10
JAN	13	9	16	48	1	12	13	5	-16	-11
FEB	-8	-25	-16	-14	5	-12	0	-28	-6	-7
MAR	-14	-51	-4	-19	-40	-27	-20	11	-41	-5
APR	16	36	4	35	13	28	-12	-1	27	-21
MAJ	-21	-12	-19	-28	-16	3	-16	-13	-5	8
JUN	-6	-12	16	-36	-17	-18	-3	-6	-8	-18
JUL	-4	-1	22	-8	1	10	-21	-11	9	12
AUG	3	4	-20	25	25	-4	0	-19	-15	-17
SEP	2	-14	5	13	-5	40	1	-12	-21	18
OKT	10	-13	1	-33	19	5	32	16	19	29
NOV	6	8	3	-8	5	-9	5	34	-3	-3
DEC	-17	21	27	0	2	6	3	-22	-14	-11

4.8 Till vilken grad kan ändringar i cirkulationstyper förklara ändringarna i temperatur och nederbörd?

Frekvensen av de olika cirkulationstyperna har ändrats med tiden (kap. 4.1–4.4). Samtidigt har cirkulationstyperna förändrats (kap. 4.5–4.7). Nu sätter vi samman resultaten och studerar hur stor del av förändringarna i temperatur och nederbörd som förklaras av förändring i frekvens av olika cirkulationstyper, och hur stor del av förändringen som förklaras av förändringar inom respektive cirkulationstyp. Detta beräknas med Ekvation 1. I Figur 18 och 19 visar vi resultaten för årets samtliga månader uppdelat på bidraget från frekvensförändringar och bidraget från skillnaden för respektive cirkulationstyp. Vi visar också den totala skillnaden mellan de två perioderna.

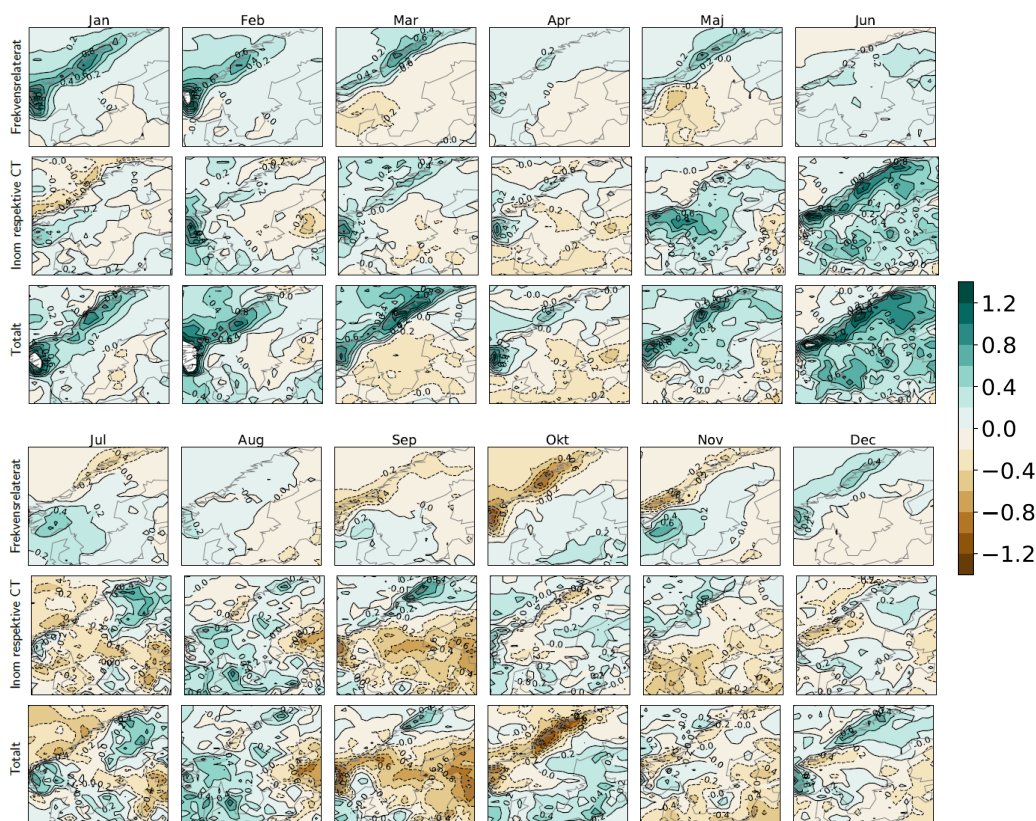
Figur 18 visar att skillnaderna i temperatur mellan de två perioderna till största delen är relaterad till ändringar inom respektive cirkulationstyp vilket alltså speglar resultaten som visas för Figur 14 och 17 här ovan. Figuren visar också att frekvensrelaterade ändringar bidrar på ett signifikant sätt för den observerade uppvärmningen, främst för januari och februari och i stora områden i norr också för mars och december. För februari syns till exempel områden i Norrland där den frekvensrelaterade förändringen dominerar.

Analysen visar också att för maj, juni och oktober finns stora områden där de frekvensrelaterade förändringarna pekar på att 1991–2020 borde vara kallare än 1961–1990 vilket också är fallet för relativt stora delar av Svealand och Norrland i juni och för stora delar av främst östra Sverige i oktober. För maj uppvägs minskningen till följd av ändring i frekvens av uppvärmningen som syns för de olika vädertyperna. Detta är särskilt tydligt för delar av fjällkedjan.



Figur 18. Temperaturskillnad mellan 1991–2020 och 1961–1990. Den översta raden för varje månad visar temperaturskillnaden relaterat till ändringar i frekvens av cirkulationstyp (jämför Fig. 14). Den mellersta raden visar summan av ändringarna inom respektive cirkulationstyp (jämför Fig. 15 och 17 för respektive januari och juli). Den nedersta raden visar på den totala temperaturskillnaden mellan de två perioderna. Enhet (°C).

Fjällkedjan, och de mest höglänta områdena, sticker ut för alla månader som ett område med lokalt kraftig uppvärmning. I övrigt noterar vi att uppvärmningen i november till januari som regel är som störst i landets norra och västra delar. Under perioden februari till april är uppvärmningen störst i ett område från södra Norge in över Götaland och södra Svealand och upp längs Norrlandskusten. I flera månader under sommarhalvåret syns också en relativt kraftig uppvärmning av Östersjön relativt land (maj, juni, augusti, september och oktober).

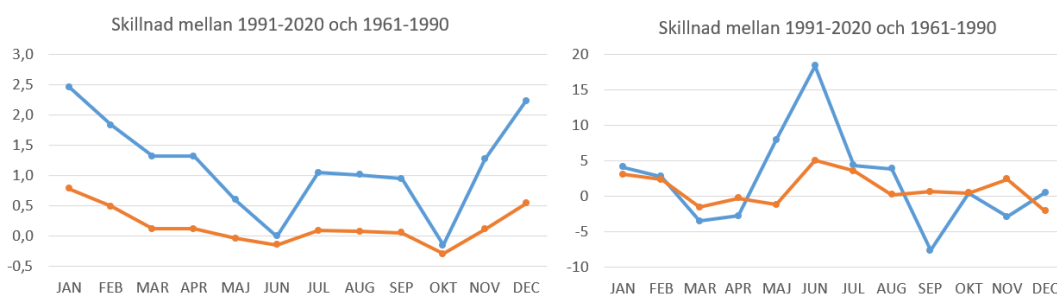


Figur 19. Nederbördsskillnad mellan 1991–2020 och 1961–1990. Den översta raden för varje månad visar nederbördsskillnaden relaterat till ändringar i frekvens av cirkulationstyp (jämför Fig. 14). Den mellersta raden visar summan av ändringarna inom respektive cirkulationstyp (jämför Fig. 15 och 18 för respektive januari och juli). Den nedersta raden visar på den totala nederbördsskillnaden mellan de två perioderna. Enhet (mm/dag).

För nederbörd visar Figur 19 att de frekvensrelaterade skillnaderna i regel är väsentligt mer storskaliga än förändringarna inom respektive cirkulationstyp, som uppvisar mer regionala och lokala detaljer. Vidare noterar vi att jämfört med temperatur så är de frekvensrelaterade skillnaderna för nederbörd relativt sett viktigare och dominerar i många fall den totala signalen. Särskilt i anslutning till fjällkedjan fås här stora positiva och negativa bidrag till den totala skillnaden i nederbörd till följd av ändringar i cirkulationstyper. På motsvarande sätt finns skillnader mellan östra och västra Sydsverige, dock med väsentligt mindre amplitud. Men även skillnaderna inom cirkulationstyper bidrar starkt till totalen. Till exempel visar både maj och juni stora nederbördsöverskott i andra perioden som till stor del kan kopplas till ökning inom cirkulationstyper, dvs. mestadels mer regn när det regnar. För maj är den ökningen så stor att den till stor del uppväger minskningen som den frekvensrelaterade skillnaden hade gett upphov till.

Resultaten i Figur 18 och 19 visar tydligt att skillnaden mellan 1961–1990 och 1991–2020 i huvudsak inte kan förklaras med hjälp av skillnad i frekvens av cirkulationstyper mellan de två perioderna. Istället är det skillnader i klimat inom respektive cirkulationstyp som är viktigast. Här visar vi hur stort bidraget från ändringen i frekvens av cirkulationstyper är till de observerade skillnaderna i temperatur och nederbörd för varje månad för Sverige som helhet.

För att beräkna detta tar vi medeltemperatur och nederbörd för respektive cirkulationstyp i perioden 1961–1990 och multiplicerar med frekvensen av cirkulationstyper i perioden 1991–2020 (Fig. 14). Bidragen från de tio cirkulationstyperna adderas därefter vilket ger en syntetisk medeltemperatur för 1991–2020 baserad på temperatur- och nederbörds-klimatet för 1961–1990 vid de variationer i storskalig cirkulation som gäller för 1991–2020. Därefter jämför vi skillnaden mellan 30-årsmedelvärden för temperatur och nederbörd från återanalysdata för de båda perioderna med motsvarande skillnad mellan det observerade värden för 1961–1990 och de syntetiska värdena vi räknat ut för 1991–2020 (Figur 20).



Figur 20. Skillnad mellan 1991–2020 och 1961–1990 i Sveriges medeltemperatur (vänster, °C) och nederbörd (höger, mm/månad) enligt i) ERA5 (blå linjer) och ii) syntetiska värden baserat på cirkulationstyper för 1991–2020 jämfört med observationer 1961–1990 (orange linjer).

Om förhållandet mellan cirkulationstyper och temperaturer varit densamma under 1991–2020 som 1961–1990 hade temperaturskillnaden mellan de två perioderna som mest uppgått till 0,8°C (januari). Även för februari och december hade skillnaden varit relativt stor med ungefär 0,5°C. Oktober hade istället varit kallare, med 0,3°C. Även för juni syns små negativa värden men de ligger inom 0,1°C, liksom de resterande månaderna i perioden mars till september. Vi noterar återigen att 1991–2020 är väsentligt varmare än vad som hade varit att vänta givet enbart förändringar i frekvens av olika cirkulationstyper för alla månader utom juni och oktober. För vintermånaderna är bidraget från cirkulationsförändringar som störst och motsvarar 20–30% av den totala skillnaden. Även om bidragen från frekvensen av cirkulationstyper är litet till totalen så pekar figuren på att det finns en korrelation, månader med förväntat positivt bidrag är också bland de med stor skillnad enligt ERA5, medan de månader där det finns ett förväntat negativt bidrag är bland de med minst skillnad (juni och oktober). De två kurvorna har en hög grad av korrelation (0,96).

För nederbörd är det särskilt juni som sticker ut med stora skillnader (mer än 10 mm/månad) mellan 1991–2020 och 1961–1990. Även maj och september har relativt stora skillnader (mer än 5 mm/månad) medan det för övriga månader rör sig om högst 5 mm/månad. Korrelationen mellan de två kurvorna (0,51) är väsentligt lägre än för temperatur. För vissa månader finns en viss samvariation, som t ex januari, februari och juni med högre nederbörd i båda kurvorna. Andra månader, t ex maj, september och november visar på motsatsen. Sammantaget är det uppenbart att ändrad frekvens av cirkulationstyper inte entydigt kan förklara skillnader i nederbörd mellan de båda perioderna. På årsbasis har nederbörden enligt ERA5 ökat med lite drygt 25 mm mellan de två perioderna. Vi noterar att detta är en mindre skillnad än motsvarande beräknad direkt utifrån observationer (cirka 40 mm), se vidare diskussion kring detta i kap 4.1.

5 Sammanfattning och slutsatser

I rapporten visas hur Sveriges temperatur- och nederbörds klimat ändrats under de senaste 160 åren. Hur detta samvarierat med den storskaliga atmosfäriska cirkulationen, här representerad av NAO-index, har också studerats för perioden från 1899 fram till och med 2020. Vi har också undersökt i mer detalj hur de två normalperioderna, 1961–1990 och 1991–2020 skiljer sig åt med hjälp av en klusteranalys där olika vädersituationer har klassificerats beroende på cirkulationstyp. Resultaten för Sveriges temperatur- och nederbörds klimat visar att:

- Temperaturen har ökat för alla säsonger och de varmaste 30-årsperioderna återfinns i slutet av tidsserien.
- För nederbörd visar observationerna på ökad nederbörd för åtta av årets tolv månader för 1991–2020 jämfört med 1961–1990.
- Observationerna visar att årsnederbörden har ökat med ca 40 mm. För återanalysen är motsvarande ökning 25 mm/år. Möjliga orsaker till skillnaden mot observationer handlar om svårigheter vid nederbördsinsamling under främst vinterhalvåret samt att dataseten på olika sätt speglar förhållanden över hela Sverige.
- Variabiliteten mellan kalla och varma dagar har som regel minskat under vinter och ökat under sommaren för 1991–2020 jämfört med 1961–1990. För nederbörden är ändringarna i variabilitet inte systematiska.

För förhållandet mellan den storskaliga atmosfäriska cirkulationen, representerad av NAO-index, och Sveriges temperatur- och nederbörds klimat visar resultaten att:

- NAO-index kan förklara en stor del av temperaturvariationerna mellan olika år under vinterhalvåret i Sverige; högt NAO-index är förknippat med höga temperaturer och lågt index med låga temperaturer.
- NAO-index kan endast förklara en mindre del av variationerna i nederbörd för landet som helhet. Även här är förklaringsgraden störst under vintern med relativt mycket nederbörd under NAO-positiva förhållanden. På sommaren finns en viss antikorrelation mellan NAO-index och nederbördsmängd men förklaringsgraden är låg.
- Korrelationerna mellan NAO-index och temperatur respektive nederbörd har ändrats över tid och skiljer sig åt mellan olika 30-årsperioder.
- I ett sekellångt perspektiv märks både en långsiktig uppvärmning och nederbördsökning. Under samma tid finns ingen tydlig långsiktig trend i NAO.
- Temperatur och nederbörd beräknat utifrån regression mot NAO-index visar att långsiktiga ändringar i NAO-index mellan 1961–1990 och 1991–2020 kan förklara en del av de observerade ändringarna i temperatur mellan de två perioderna under vinterhalvåret. För nederbörden är förklaringsgraden generellt låg.
- På samma sätt kan ändringar i NAO-index förklara delar av skillnaderna i temperatur mellan 1901–1930 och 1931–1960.
- Resultaten visar dock att förändringarna i NAO-index är långt ifrån tillräckliga för att förklara hela skillnaden i temperatur och nederbörd och att de långsiktiga trenderna inte fångas.

För en mer detaljerad beskrivning av förhållandet mellan den storskaliga atmosfäriska cirkulationen och Sveriges temperatur- och nederbördsklimat visar klusteranalysen av tio olika cirkulationstyper för varje månad att:

- För en viss månad är de vanligaste cirkulationstyperna ungefär samma som i närliggande månader. De olika cirkulationstyperna är snarlika mellan månaderna, särskilt gäller detta internt för vinterhalvåret och sommarhalvåret.
- Till de olika cirkulationstyperna kan distinkta anomalier i temperatur och nederbörd kopplas.
- Klusteranalysen visar att temperatur- och nederbördsskillnader mellan de två perioderna delvis hänger samman med skillnader i storskalig cirkulation i atmosfären.
- För temperatur är bidraget från förändrad frekvens av cirkulationstyper mellan de två perioderna relativt litet och den stora skillnaden mellan perioderna hänger istället samman med skillnader inom respektive cirkulationstyper. I stort kan man alltså säga att det har blivit varmare mer eller mindre oavsett vilket väderläge som råder.
- För temperatur finns en tydlig förändring i variabiliteten inom de olika cirkulationstyperna. Generellt syns en ökning i variabiliteten under sommaren och en markant minskning under vintern.
- De största bidragen till ändringar i temperatur från förändrad frekvens av cirkulationstyper finns i januari och februari då cirkulationsförändringar har bidragit till de högre temperaturerna under 1991–2020 jämfört med 1961–1990. För juni och oktober visar resultaten att cirkulationsförändringar bidragit till att 1991–2020 varit kallare i delar av landet.
- För nederbörd är bidraget från frekvensförändringar mellan de två perioderna relativt större än för temperatur. Särskilt i anslutning till Skanderna, men även i förhållande till Sydsvenska höglandet, syns frekvensrelaterade bidrag.
- Nederbördens variabilitet inom de olika cirkulationstyperna har också ändrats men här finns inget entydigt säsongsmönster eller koppling till ändring i total nederbördsmängd.

Vi noterar också att:

- Den storskaliga cirkulationen påverkar väder och klimat olika mycket i olika delar av landet. Därför bör korrelationen mot ytmedelvärde för större område som till exempel hela Sverige tolkas med försiktighet.
- De två analysmetoderna ger i stora drag liknande resultat och kan ses som komplement till varandra. Klusteranalysen ger som väntat en mer detaljerad bild än regressionsanalysen mot NAO-index och kan därför på ett bättre sätt användas för att mer i detalj beskriva och förklara skillnader mellan olika normalperioder.
- I analysen har inte gjorts några försök att knyta klimatförändringen till andra faktorer än skillnad i storskalig atmosfärscirkulation. Resultaten är dock helt i linje med de förändringar som väntas till följd av ökade växthusgas-koncentrationer i atmosfären. Vidare studier för att ytterligare väga in olika faktorer som till exempel variationer i havsytans temperatur över Nordatlanten, varierande halter av aerosolpartiklar över Europa och förändrad mark-användning under 1900-talet kan ge en mer fullständig bild.
- En global uppvärmning innebär också att den atmosfäriska cirkulationen förändras. Förändrade frekvenser av cirkulationstyper kan vara orsakade av en global klimatförändring. Det har vi inte studerat.

En huvudslutsats är att de klimatförändringar som vi sett under de senaste 160 åren har olika orsaker. Delar av skillnaderna mellan olika 30-årsperioder kan förklaras av skillnader i storskalig atmosfärisk cirkulation, men de långsiktiga trenderna i temperatur och nederbörd kan inte förklaras med hjälp av detta. Vi kan också konstatera att det under de senaste 30 åren mestadels varit varmare än under de föregående 30 åren givet samma typ av vädersituation under alla årets månader.

6 Referenser

- Barnston AG, Livezey RE (1987) Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon Weather Rev* 115, 1083–1126. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2)
- Barry RG, Perry AH (1973) *Synoptic Climatology*. Methuen: London.
- Baur F, Hess P, Nagel H (1944) *Kalendar der Grosswetterlagen Europas 1881–1939*. Bad Homburg Deutsche WetterDienst.
- Busuioc A, Chen D and Hellström C (2001) Temporal and spatial variability of precipitation in Sweden and its link with the large-scale atmospheric circulation. *Tellus A*, 53: 348–367. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0870.2001.01152.x>
- Folland CK, Knight J, Linderholm HW, Fereday D, Ineson S, Hurrell JW (2009) The summer North Atlantic Oscillation: past, present, and future. *J Clim* 22:1082–1108
- Hansen F and Belušić B (2021) Tailoring circulation type classification outcomes; accepted for publication in *International Journal of Climatology*. doi: 10.1002/joc.7171
- Hegerl GC, Brönnimann S, Schurer A, Cowan T (2018) The early 20th century warming: Anomalies, causes, and consequences. *WIREs Clim Change*, 9:e522. <https://doi.org/10.1002/wcc.522>
- Hersbach H, Bell B, Berrisford P et al. (2020) The ERA5 global reanalysis. *Q J R Meteorol Soc*, 146, 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Hertig E and Jacobeit J (2014) Variability of weather regimes in the North Atlantic-European area: past and future. *Atmos Sci Lett*, 15, 314–320. <https://doi.org/10.1002/asl2.505>
- Hurrell JW (1995) Decadal trends in the North Atlantic oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676–679.
- Hurrell JW, Kushnir Y, Ottersen G and Visbeck M (2003) An Overview of the North Atlantic Oscillation. In: *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact* (eds JW Hurrell, Y Kushnir, G Ottersen and M Visbeck). <https://doi.org/10.1029/134GM01>
- IPCC (2013) In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SA, Boschung J, et al. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1535.
- Ivasić S, Herceg-Bulić I and King MP (2021) Recent weakening in the winter ENSO teleconnection over the North Atlantic-European region. *Clim Dyn*, <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05783-z>
- Jones PD, Jónsson T and Wheeler D (1997) Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. *Int J Climatol*, 17, 1433–1450. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(19971115)17:13<1433::AID-JOC203>3.0.CO;2-P
- Kjellström E, Thejll P, Rummukainen M, Christensen JH, Boberg F, Christensen OB, Fox Maule C (2013) Emerging regional climate change signals for Europe under

- varying large-scale circulation conditions, *Clim Res*, 56, 103–119, DOI: 10.3354/cr01146.
- Lamb HH (1950) Types and spells of weather around the year in the British Isles: annual trends, seasonal structure of the year, singularities. *Q J R Met Soc*, 76, pp. 393-429.
- Marshall GJ, Jylhä K, Kivinen S et al. (2020) The role of atmospheric circulation patterns in driving recent changes in indices of extreme seasonal precipitation across Arctic Fennoscandia. *Climatic Change* 162, 741–759. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02747-w>
- Morice CP, Kennedy JJ, Rayner NA, Winn JP, Hogan E, Killick RE, Dunn RJH, Osborn TJ, Jones PD, and Simpson IR (2021) An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 dataset. *J Geophys Res*, doi:10.1029/2019JD032361
- NCAR (2020) National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 14 Aug 2020. "The Climate Data Guide: Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) Index (PC-based)." Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-pc-based>.
- Philipp A, Della-Marta PM, Jacobeit J, Fereday DR, Jones PD, Moberg A and Wanner H (2007) Long-term variability of daily North Atlantic-European pressure patterns since 1850 classified by simulated annealing clustering. *J Clim*, 20 (16), 4065–4095, doi:10.1175/JCLI 4175.1.
- Philipp A and Coauthors (2010) Cost733cat—A database of weather and circulation type classification. *Phys Chem Earth*, 35, 360–373.
- Rubel F and Hantel M (2001) BALTEX 1/6-degree daily precipitation climatology 1996–1998. *Meteorol Atmos Phys*. 77, 155–166. <https://doi.org/10.1007/s007030170024>

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. FN:s 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. FN:s 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 Farelius (2015)
Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat
13. Gunn Persson (2015)
Sveriges klimat 1860-2014. Underlag till Dricksvattenutredningen

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

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

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