KUNGL. VETENSKAPS-AKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

VETENSKAPEN SÄGER

VETENSKAPEN SÄGER ★ NR 2 ★ OKTOBER 2021

– om klimatet

Klimatförändringarna är redan märkbara världen över, och i dag vet vi med säkerhet att det är mänsklig påverkan som ligger bakom. Den globala uppvärmningen gör att vi i framtiden får räkna med allt fler och mer extrema väderhändelser. Med vetenskapens hjälp kan vi bättre förstå vad det är som händer och hur vi kan bromsa utvecklingen.

I KORTHET

★ **Vi har i decennier haft kunskap om att jorden blivit varmare.** De klimatförändringar vi ser i dag är utbredda, snabba och allt tydligare. Dessa förändringar saknar motstycke i ett flertusenårigt perspektiv och vissa av dem är unika i ett betydligt längre tidsperspektiv.

★ Det är obestridligt att människans påverkan, främst genom utsläpp av växthusgaser, har orsakat en global uppvärmning och andra förändringar i klimatsystemet. Mänsklig påverkan gör också att vissa extrema klimathändelser – inklusive värmeböljor, kraftig nederbörd och torka – blir mer frekventa och intensiva.

★ Klimatförändringar påverkar redan varje region på jorden på flera sätt. Många förändringar i klimatet beror direkt på graden av global uppvärmning, men regionalt kan det skilja sig mycket åt från det globala genomsnittet. Exempelvis är uppvärmningen över land större än det globala genomsnittet, och uppvärmningen är dubbelt så hög i Arktis som det globala medelvärdet.

★ Även för norra Europa förväntas uppvärmningen fortsätta med gradvis allt kortare och mildare vintrar och längre samt varmare somrar. Frekvensen av kalla perioder och dagar med frost minskar, samtidigt som antalet varma dagar och värmeböljor ökar. Den genomsnittliga nederbörden förväntas öka och extrema nederbördshändelser blir vanligare och mer intensiva. Snötäckets utbredning och varaktighet kommer att minska och glaciärerna fortsätta krympa. Den relativa havsnivåhöjningen kommer att fortsätta, utom i norra Östersjön, Bottenhavet och Bottenviken, på grund av landhöjningen. Utbredningen av havsis minskar och marina värmeböljor blir vanligare.

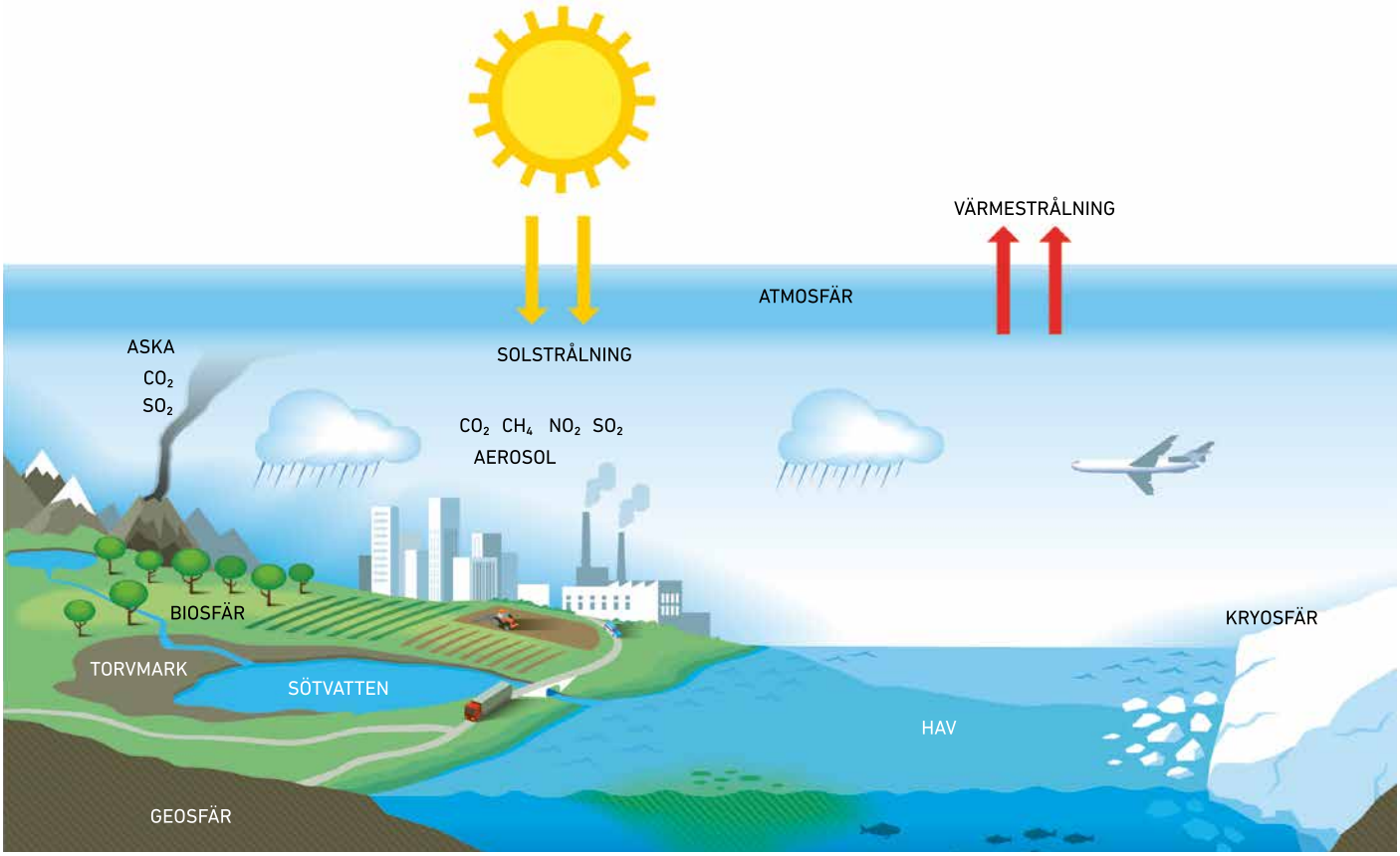
★ Många förändringar i klimatsystemet är oåterkalleliga och tröga. Koldioxiden som redan har släppts ut orsakar förändringar i världshaven, i markområden med permafrost och i havsnivån – effekter som kommer att kvarstå i tusentals år. Vissa förändringar som exempelvis ökande temperatur och förändrad nederbörd kan inte helt hejdas, men kan bromsas genom omfattande minskningar av utsläpp av växthusgaser. Att återvända till förindustriella nivåer är dock omöjligt i ett kort tidsperspektiv. Förmodligen också i ett längre tidsperspektiv.

★ Framtidens klimat kommer att bestämmas av utsläppens utveckling och jordens klimatkänslighet, vilken i sin tur beror på återkopplingarna i klimatsystemet. Storleken av framtida utsläpp kan vi styra, däremot inte klimatkänsligheten. I IPCC:s[1] senaste rapport har man lyckats minska osäkerheten i uppskattningen av klimatkänsligheten. Det innebär att projektioner av framtidens klimat vid olika utsläppsscenarier har blivit säkrare.

★ Snabba och ihållande minskningar av sothaltiga partiklar, metan och andra växthusgaser skulle inte bara ge en viss minskning av den globala uppvärmningen utan också förbättra luftkvaliteten. En minskning av sulfat och andra reflekterande partiklar skulle också förbättra luftkvaliteten, men dessa partiklars avkylande effekt skulle då samtidigt minska och därmed bidra till en förhöjd uppvärmning.

★ Att begränsa den globala uppvärmningen till 1,5 grader kräver mycket snabba utsläppsminskningar med en halvering av koldioxidutsläppen till omkring 2030, nettonollutsläpp av koldioxid till omkring 2050 samt avlägsnande av koldioxid från atmosfären. Samtidigt måste också andra utsläpp minskas. Utvecklingen i världen i dag pekar snarare mot 2,5 till 3 graders uppvärmning, baserat på olika länders planer, beslut och utfästelser – om de genomförs.

[1] Data for figures 3, 5, 6: IPCC (2021): Summary for Policymakers of the Working Group I Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report. NERC EDS Centre for Environmental Data Analysis, date of citation. http://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/ae4f1eb6fce24adcb92ddca1a7838a5c.



FIGUR 1: Vårt klimat formas av ett samspel mellan fem huvudsakliga komponenter. Atmosfären (luft), geosfären (mark och landyta), hydrosfären (vatten i hav och sjöar), kryosfären (is och snö) samt biosfären (levande organismer) har alla ett finger med i spelet. Klimatsystemet styrs av en växelverkan mellan fysiska, kemiska och biologiska processer inom och mellan dessa sfärer.

DEN GLOBALA UPPVÄRMNINGEN OCH KLIMATFÖRÄNDRINGARNA

I dag lever vi i en värld där klimatet förändras snabbare än på flera tusen år. Människans utsläpp av växthusgaser har orsakat en global uppvärmning. Hur blev det så här och vad kan vi göra för att bromsa utvecklingen?

I alla tider har klimatet varierat. Under långa perioder har jorden varit täckt av is. Klimatet har också varit varmare än vad det är i dag. Dessa variationer har bland annat orsakats av kontinentaldrift, variationer i solstrålning och storskaliga vulkanutbrott. I dag ändras klimatet mycket snabbare än tidigare.

Det råder ingen tvekan om att det just nu pågår en klimatförändring. Det vet vi av många olika anledningar. Inte minst tack vare omfattande direkta observationer av temperatur och luftfuktighet. Forskare har också gjort indirekta observationer genom att

studera årsringar hos gamla träd som avslöjar hur klimatet har varierat de senaste årtusendena. Genom att studera iskärnor från glaciärer eller innehållet i sediment på botten av gamla sjöar eller i havet går det också att dra slutsatser om hur klimatet sett ut för miljontals år sedan.

Framsteg inom klimatvetenskapen

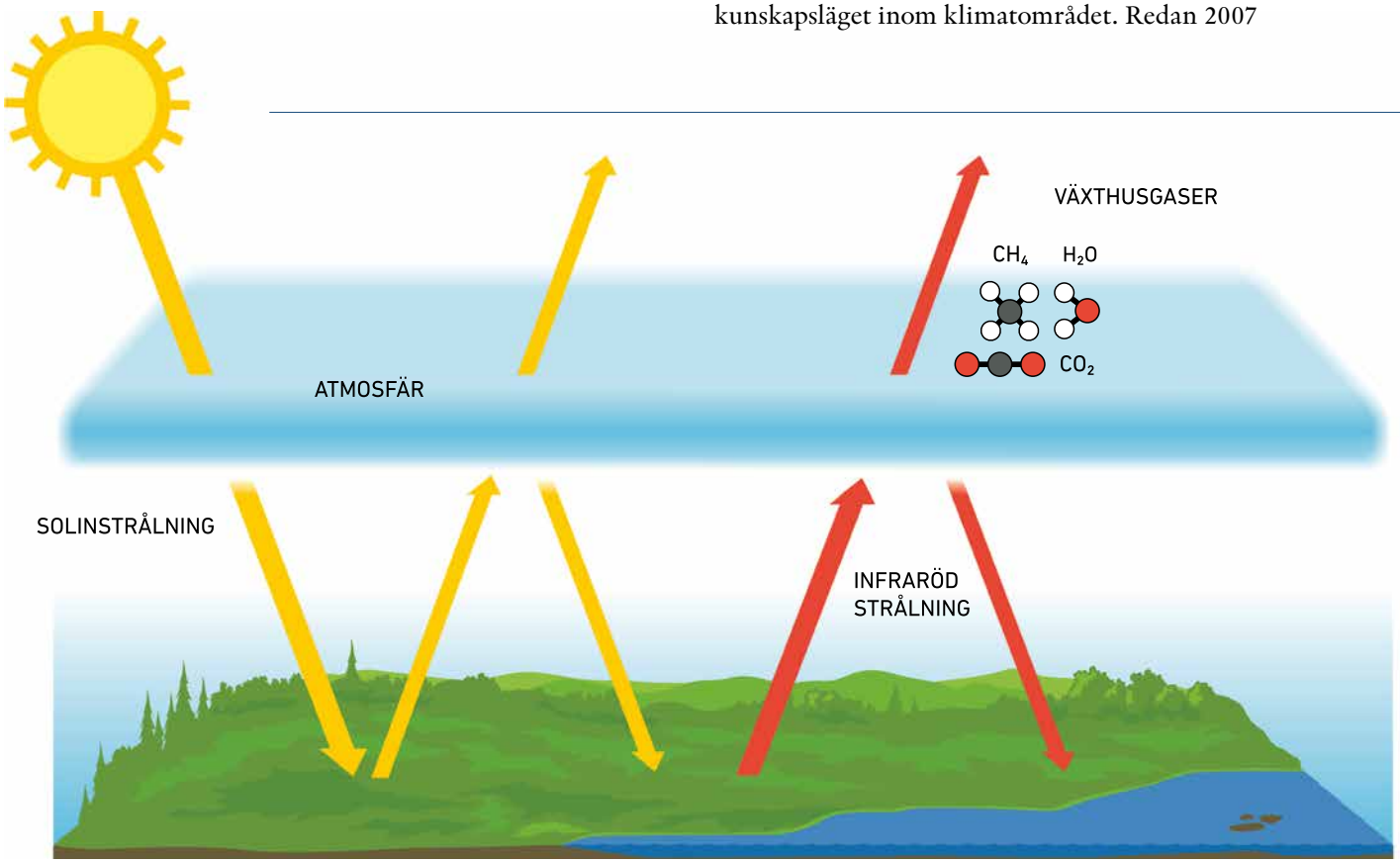
De allra första pusselbitarna i forskningen om klimatförändringar i modern tid noterades redan i mitten av 1800-talet. Den amerikanska forskaren Eunice Foote och britten John Tyndall undersökte värmestrålning hos de gaser som ingår i atmosfären. Forskarna drog också slutsatser om växthuseffektens huvudsakliga mekanismer **(SE FIGUR 2).** 1896 beräknade den svenske forskaren Svante Arrhenius att en fördubbling av atmosfärisk koldioxid skulle ge en uppvärmning på 5–6 grader.

Att planetens landområden värmdes upp observerades för första gången på 1930-talet. Även om en ökning av atmosfärens koldioxidkoncentration föreslogs som en del av förklaringen kunde det då inte fastställas om uppvärmningen var en del av en långsiktig trend eller om det rörde sig om naturliga klimatvariationer. Men uppvärmningen fortsatte och på 1980-talet hade en systematisk uppvärmning blivit uppenbar.

Med tiden har den vetenskapliga förståelsen för klimatsystemet blivit allt bättre. Två av Nobelpristagarna i fysik 2021 – Syukuro Manabe och Klaus Hasselmann – har varit pionjärer när det gäller utvecklingen av modeller för att beskriva klimatets variationer och ändring till följd av människans klimatpåverkan.

Ansträngningar för att minska utsläppen

Vetenskaplig forskning om klimatförändringar utvärderas av FN:s panel för klimatförändringar, IPCC. Sedan 1990 har IPCC genomfört sex omfattande och detaljerade sammanställningar av kunskapsläget inom klimatområdet. Redan 2007



drogs för första gången slutsatsen att en mänsklig påverkan på uppvärmningen av klimatsystemet är entydig. Ihållande förändringar dokumenterades då i alla dess viktiga delar **(SE FIGUR 1)**. Rapporterna från IPCC speglar vetenskapliga framsteg och uppvisar allt tydligare bevis på att klimatsystemet förändrats, att det beror på mänsklig påverkan och att fortsatt påverkan leder till allt större förändringar.

Sedan 1992 har FN:s ramkonvention om klimatförändringar det övergripande målet att förhindra farlig mänsklig påverkan på klimatsystemet. Som svar på detta mål fastställdes i Parisavtalet 2015 de långsiktiga målen att ”hålla ökningen av den globala medeltemperaturen med god marginal under 2 grader över förindustriella nivåer och fortsätta ansträngningarna för att begränsa temperaturökningen till 1,5 grader över förindustriella nivåer”.

Sverige sticker ut

De senaste 160 åren har den globala medeltemperaturen stigit med 1,1 grader. Det finns ingen annan vetenskapligt förankrad förklaring till detta än de ökande halterna av växthusgaser, främst koldioxid. Temperaturökningen är som störst på de nordliga breddgraderna. I Sverige är ökningen nästan dubbelt så stor som det globala medelvärdet.

Trots arbetet med att begränsa mängden växthusgaser är tecknen på globala klimatförändringar otvetydiga. Det märks på parametrar som exempelvis temperatur, havsnivåhöjning och isavsmältning. Långsiktiga förändringar i nederbörd, havsis och vissa extrema väderförhållanden har också blivit märkbara i många regioner. Många av dagens storskaliga klimatförändringar är unika sedda ur ett flertusenårigt perspektiv eller rentav ännu längre.

FIGUR 2: Ofta beskrivs växthuseffekten, väldigt förenklat, som ett växthus där solstrålning lätt kan ta sig in medan värmen inne i växthuset har svårt att ta sig ut igen. Det medför en ökad temperatur i växthuset.

Klimatsystemet tar emot energi från solen genom att fånga upp solstrålningen, och blir av med nästan lika mycket energi igen genom att sända ut infraröd strålning (värmestrålning) till rymden. För närvarande är den infraröda utstrålningen runt 0,8 W/m^2 mindre än solinstrålningen. Det är denna strålningsobalans som leder till den pågående globala uppvärmningen.

Atmosfären består i huvudsak av molekyler av kväve (N_2) och syre (O_2). Båda dessa gaser släpper igenom infraröd strålning. De viktigaste växthusgaserna – koldioxid (CO_2), vattenånga (H_2O) och metan (CH_4) – har i stället förmågan att fånga upp infraröd strålning. Växthusgaserna kapslar därmed in värmen som i ett växthus.

I grunden är växthusgaser något positivt. Utan dessa skulle jorden knappast vara beboelig eftersom temperaturen skulle vara omkring 30 grader lägre än i dag. Problemet är att människan förstärker växthuseffekten genom sina utsläpp. Växthusgaserna rubbar jordens strålningsbalans och resultatet blir att jordytan värms upp mer än normalt.

INNEHÅLLET I FÖLJANDE AVSNITT

I följande avsnitt kommer vi att svara på dessa frågor

1) **Hur är den globala uppvärmningen relaterad till koldioxidutsläpp?**

2) **Varför är klimatkänslighet ett så viktigt begrepp?**

3) **Hur kan vårt framtida klimat komma att se ut?**

4) **Hur har förekomsten av extrema klimat- och väderhändelser sett ut, hur intensiva har de varit och vad kan vi förvänta oss i framtiden – speciellt i norra Europa?**

AVSNITT 1:

Människans påverkan på kolets kretslopp och koldioxidens klimatpåverkan

Ökningen av atmosfärens halt av koldioxid är den viktigaste orsaken till den ökning av jordens medeltemperatur som har observerats under de senaste årtiondena. Chanserna att nå det omtalade 1,5-gradersmålet bedöms i dagsläget som små.

Grundämnet kol (C) är den viktigaste byggstenen i organiskt liv. Förutom att kol förekommer i levande organismer finns kol också i berggrunden, sedimenten, haven och atmosfären. Kolet cirkulerar ständigt mellan dessa reservoarer. Koldioxid (CO_2) i atmosfären tas upp av växterna när de genom fotosyntesen bildar sockerarter som bygger upp växtmaterial. När växter dör och bryts ned återgår koldioxid till atmosfären. Ett utbyte sker också ständigt mellan atmosfärens koldioxid och löst koldioxid i haven.

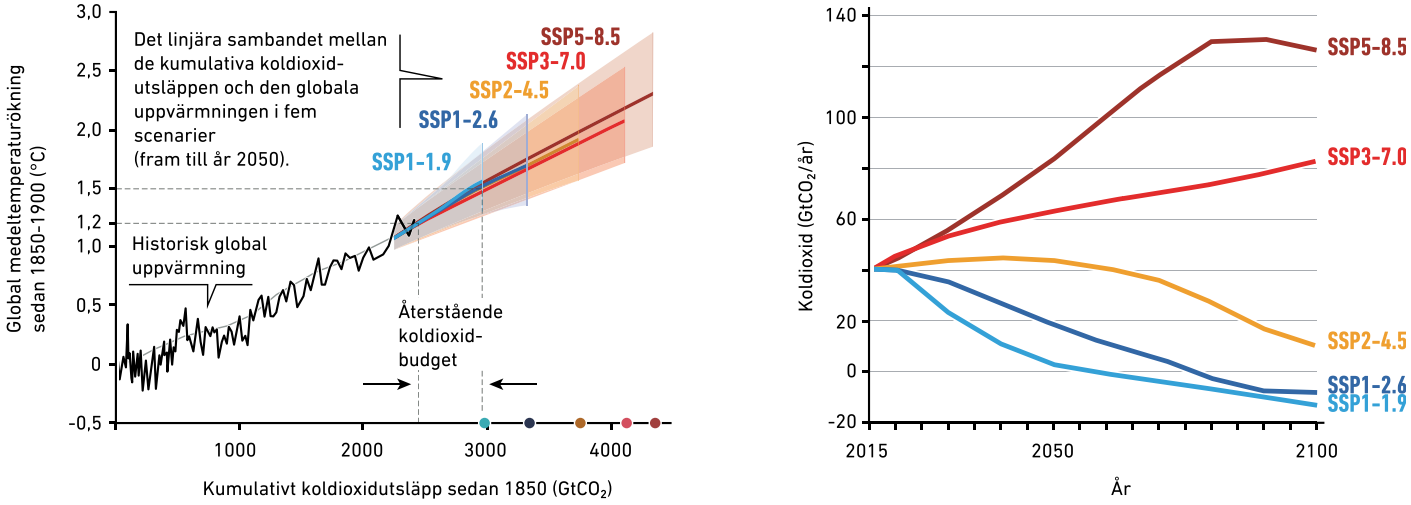
Dessa naturliga flöden har länge varit i ungefärlig balans, men sedan industrialiseringens början har förbränning av fossila bränslen (kol, olja och naturgas) gett ett extra tillskott av koldioxid till atmosfären. Därigenom har balansen rubbats och koncentrationen av koldioxid i atmosfären har stigit. Sedan noggranna mätningar inleddes 1957 har koncentrationen stigit med cirka 30 procent. Atmosfärens ständiga rörelser medför att koldioxiden är väl blandad och samma ökningstakt kan uppmätas över hela jorden.

Det tar flera tusen år innan detta nya tillskott av koldioxid till slut försvinner genom upptag i havets sediment. Det innebär att halten av koldioxid i atmosfären ökar i takt med de ackumulerade (sammanlagda) utsläppen. Vill vi hejda den globala uppvärmningen måste i princip alla koldioxidutsläpp upphöra. Om vi vill hålla koncentrationen av koldioxid i atmosfären under en viss nivå och därmed också begränsa uppvärmningen till ett givet värde – säg 2 grader – finns det därför bara ett visst utrymme för fortsatta utsläpp.

Klimatmål och utsläppsutrymme

Fram till 2020 uppgick de samlade utsläppen av koldioxid till cirka 2 400 gigaton (1 gigaton = 1 miljard ton) samtidigt som temperaturen stigit med 1,1 grader. För att begränsa temperaturökningen till 2 grader får de samlade nettoutsläppen inte överskrida cirka 3 750 gigaton koldioxid (se avsnittet om utsläppsscenarier). Det betyder att vi nu (2021) har ett mycket begränsat utsläppsutrymme kvar: cirka 1 350 gigaton koldioxid. Med dagens årliga utsläpp på cirka 44 gigaton koldioxid per år skulle utsläppsutrymmet för 2-gradersmålet vara förbrukat på runt 30 år. Återstående budgetutrymme för 1,5-gradersmålet är cirka 400 gigaton, vilket motsvarar nio år med dagens utsläppsnivå. Då är möjligheten att uppnå dessa mål ändå inte större än 50 procent. För en högre sannolikhet måste utsläppsminskningen gå ännu snabbare.

Flera faktorer påverkar våra möjligheter att nå Parisavtalets mål. Förutom utsläpp av växthusgaser, som koldioxid och metan, påverkas klimatet också av ändrade halter av små partiklar i atmosfären. Dessa så kallade aerosoler kan ha både avkylande och uppvärmande effekt på klimatet, beroende på typen av partiklar.



FIGUR 3: Det finns ett tydligt samband mellan de samlade koldioxidutsläppen (kumulativt koldioxidutsläpp) och den globala medeltemperaturen. Dels historiskt (svart) och dels för olika beräkningar av framtidens klimat (färg). Ju större koldioxidutsläpp, desto högre temperatur. SSP-scenarierna anger fem möjliga utvecklingar (SSP1 till SSP5).

För att temperaturen inte ska överstiga 2 grader behöver de samlade utsläppen av koldioxid begränsas till högst cirka 3 750 gigaton. Motsvarande siffra för 1,5 grader är 3 000 gigaton. Det är bara scenariot SSP1-1.9 som skulle ge en reell chans att hindra en större temperaturökning än 1,5 grader. SSP1-2.6 motsvarar ungefär 2 graders uppvärmning.

Värmande och kylande partiklar

En minskning av utsläppen av metan och andra värmande gaser samt aerosoler (som sot) skulle kunna bidra till att hålla uppvärmningen nere. Å andra sidan kommer en minskning av reflekterande och därmed kylande aerosoler (som sulfat) bidra till ökning av uppvärmningen. Att minska de reflekterande aerosolerna är väsentligt ur hälsosynpunkt. Den sammanlagda effekten av dessa åtgärder kommer sannolikt att resultera i en viss uppvärmningseffekt på några tiondels grader.

De alltjämt fortsatta utsläppen av såväl koldioxid som övriga klimatpåverkande gaser och aerosoler gör det knappast troligt att kunna begränsa temperaturökningen till 1,5 grader över förindustriella nivåer.

Nödvändigt med negativa utsläpp

Eftersom koldioxid – i motsats till andra kortlivade växthusgaser – fångas upp och stannar kvar en längre tid i atmosfären, utgör åtgärderna för utsläppsminskningar av koldioxid en dominerande faktor för den globala uppvärmningen. Det är därför helt avgörande att begränsa utsläppen av koldioxid från förbränning av fossila bränslen för att det över huvud taget ska vara möjligt att stabilisera och begränsa den globala uppvärmningen till exempelvis 2 grader.

Eftersom det är oundvikligt att koldioxidutsläppen kommer att fortsätta ännu en tid diskuteras i dag kompletterande strategier att avsiktligt avlägsna koldioxid ur atmosfären, så kallad CDR (*Carbon Dioxide Removal*). De metoder som främst är aktuella är att öka skogsarealen eller att samla in koldioxid i samband med förbränningen av kolhaltiga bränslen (fossila bränslen och biobränslen) och sedan pumpa ner koldioxiden i marken eller under havsbotten. Om insamlingen utgår från förbränning av biobränslen leder en begravning av koldioxiden till en nettominskning av atmosfärens halt, ett så kallad negativt utsläpp. En sådan CDR-teknik tillämpas redan på några platser i mindre skala, till exempel vid Orca-anläggningen på Island.

FAKTA om klimatmodeller, projektioner och scenarier:

Klimatmodeller bygger på stora datorprogram som återger fysiken, kemin och biologin i klimatsystemet. Med sina rötter i väderprognosmodeller utnyttjar klimatmodellerna årtionden av forskningsresultat. De utvärderas med empiriska data från satelliter och fältmätningar från permanenta stationer på land och till havs, flygplan, mobila mätinstrument, samt information om förhistoriska klimat.

En klimatprojektion är en modellberäkning av framtida klimat. Projektionen baseras på ett scenario för framtida samhällsutveckling som ger en sammanhängande, internt konsekvent och rimlig beskrivning av framtida utsläpp av växthusgaser och annat. I AR6 arbetar man med fem väldigt olika huvudscenarier enligt de så kallade *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs). Modellberäkningarna är i linje med de framsteg som gjorts i uppskattningen av jordens klimatkänslighet **(SE AVSNITT 2)**.

Enstaka klimatprojektioner ska inte förväxlas med en prognos – varje scenario är snarare en alternativ bild av hur framtiden kan utvecklas.

AVSNITT 2:

Vikten av jordens klimatkänslighet

Aldrig tidigare har IPCC presenterat så säkra resultat om framtidens förväntade klimatförändringar som i den senaste rapporten från 2021. Nyckeln är den så kallade klimatkänsligheten.

Klimatkänslighet är ett uttryck för hur mycket varmare eller kallare klimatet blir efter en störning av något slag. Ofta handlar det om ökad koldioxidkoncentration. Forskare har länge vetat att klimatkänsligheten är avgörande för att kunna dra slutsatser om framtida klimat.

Den svenska forskaren Svante Arrhenius var först med att försöka beräkna klimatkänslighet. Hans uträkningar från 1896 visade att en fördubbling av mängden atmosfärisk koldioxid skulle ge en uppvärmning på 5–6 grader. Baserat på det vi vet i dag beräknas temperaturökningen i stället bli någonstans mellan 2,5 och 4 grader.

Ett vanligt mått på klimatkänslighet är ECS, från engelskans *Equilibrium Climate Sensitivity*, som beskriver hur stor den globala uppvärmningen skulle bli om koldioxidhalten fördubblas. Arrhenius första försök har följts av en lång rad studier som visat på

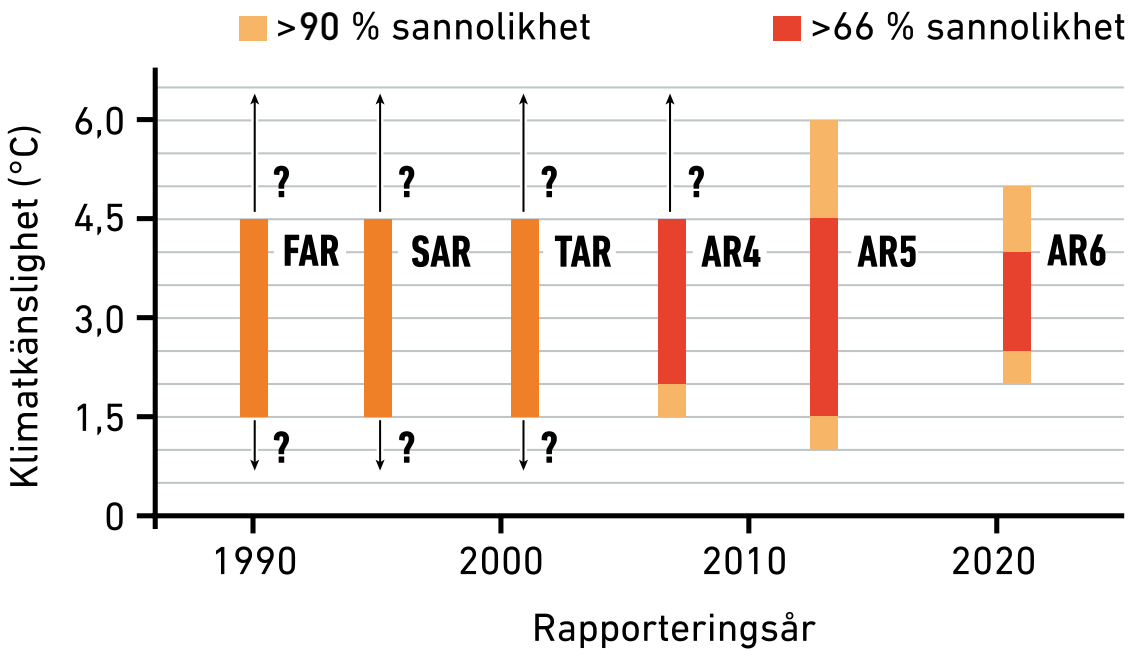
en stor spridning i ECS. Under de senaste drygt 40 åren har flertalet försök gjorts för att förbättra noggrannheten genom systematiska utvärderingar av publicerade forskningsresultat **(SE FIGUR 4)**.

Framsteg i uppskattningarna

Länge var det oklart exakt hur mycket den globala uppvärmningen skulle få temperaturen att stiga. Först i den senaste IPCC-rapporten från 2021 har osäkerheten i upp-skattningarna minskat till ungefär hälften jämfört med förra rapporten **(SE FIGUR 4)**.

Ett antal informationskällor ligger till grund för att beräkna klimatkänslighet. Förhistoriskt klimat – med bland annat den senaste istiden och varmare klimat längre tillbaka i tiden – är en pusselbit. En annan faktor är den uppvärmning som har pågått sedan 1850. Processförståelse, till exempel hur moln reagerar med koldioxid, är också viktigt. Sist men inte minst krävs omfattande beräkningar av statistiska samband.

Betydande framsteg har gjorts för var och en av dessa metoder under de senaste åren. När informationskällorna dessutom vägs samman skapas en ännu mer noggrann uppskattning. Detta har resulterat i säkrare beräkningar av den framtida globala uppvärmningen jämfört med förra IPCC-rapporten från 2014.



FIGUR 4: Systematiska utvärderingar av klimatkänsligheten för fördubblad koldioxidhalt inleddes med den så kallade Charney-rapporten från 1979. Denna har sedan följts av de 6 rapporterna från IPCC (FAR, SAR, TAR, AR4, AR5 och AR6). I den senaste IPCC-rapporten från 2021 (AR6) har osäkerheten minskats väsentligt och den röda linjen markerar sannolik temperaturökning med en sannolikhet på 66 procent eller mer. Den gula linjen markerar mycket sannolik temperaturhöjning med en sannolikhet på 90 procent eller mer. Tidigare rapporter, fram till AR4, angav enbart spännvidden för "sannolikt" och vi kan därför inte redovisa spännvidden för "mycket sannolikt".

AVSNITT 3:

Globala och regionala förändringar av klimatet

Det råder inga tvivel om att jorden kommer att fortsätta bli allt varmare. Havsnivån kommer att stiga ytterligare och istäcken smälta. Men hur kommer andra förändringar att se ut och påverka oss? Klimatet i norra Europa, inklusive Sverige, skiljer sig redan från det som rådde för bara några decennier sedan. Temperaturen har ökat för alla årstider. I framtiden förväntas temperaturökningen i Sverige att fortsätta, vilket leder till längre somrar och kortare vintrar med mindre snö och is. Nederbörden förväntas öka på årsbasis, men samtidigt ökar också risken för torka under vissa perioder. De höjda temperaturerna leder till större avdunstning och mindre snö på marken, vilket i sin tur bidrar till mindre ytavrinning på våren.

Havsytans temperatur i Nordsjön och Östersjön förväntas fortsätta stiga, vilket kommer att leda till mindre utbredning av havsisen i Östersjön. Havsförsurning, till följd av ökad koldioxidhalt, kommer att drabba haven i vårt närområde. Havsnivåhöjningen kommer att påverka våra sydliga kustområden.

Globala trender

Det är praktiskt taget säkert att jordens klimat kommer att fortsätta värmas upp under de kommande decennierna. Havsnivån kommer att fortsätta stiga och istäcken smälta **(SE FIGUR 5)**. Havsförsurningen kommer också att fortsätta i takt med att mer koldioxid löses upp i haven. Den storskaliga cirkulationen i atmosfären och haven kommer att påverkas av den fortsatta uppvärmningen, vilket kan resultera i förändrade vädermönster. Olika regioner kommer att påverkas olika **(SE FIGUR 6)**.

I förhållande till de globala nivåerna av uppvärmning värms landområdena mer än haven, och Arktis och Antarktis värms mer än tropikerna. Nederbörden förväntas öka över höga breddgrader (inklusive Nordeuropa), över ekvatoriella Stilla havet samt i södra Asien i samband med monsunregnen. Samtidigt väntas minskad nederbörd över subtropiska områden som Medelhavsområdet, södra Afrika och Australien samt i begränsade områden i tropikerna.

De förändrade mönstren är robusta och förändringarna blir större när uppvärmningen ökar. Omfattningen, hastigheten och de regionala konsekvenserna av de kommande förändringarna kommer att bero på framtida mänskliga utsläpp och på hur klimatsystemet reagerar.

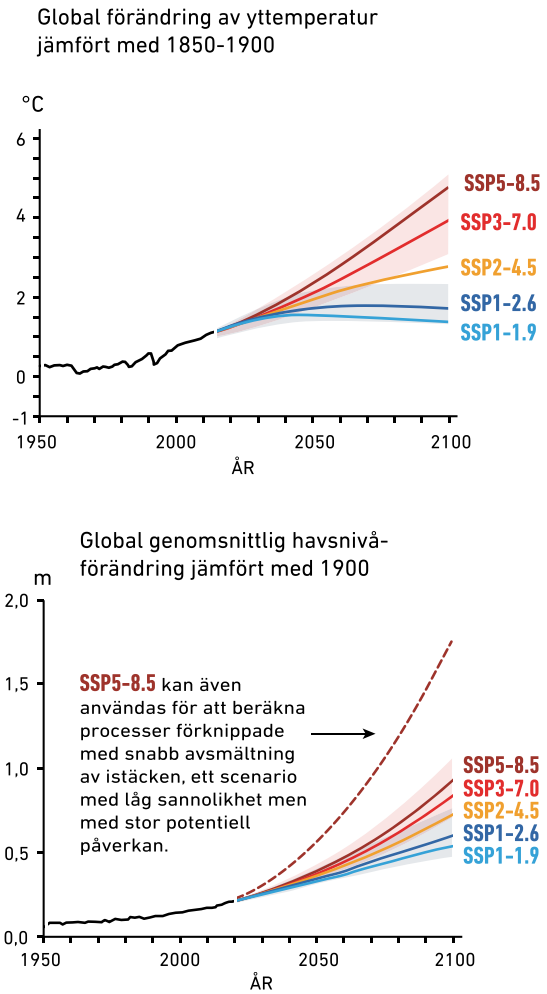
Hur kan vi förutsäga framtida klimat?

Framtida klimat bestäms av graden av klimatpåverkan **(SE AVSNITT 1)** och klimatsystemets känslighet **(SE AVSNITT 2)**. Uppskattningar av dessa kan tillsammans med projektioner **(SE FAKTARUTA)** från klimatmodeller användas för att göra beräkningar om framtida klimat.

Dagens klimatmodeller presterar bra när det gäller den genomsnittliga uppvärmningen av atmosfären och havet. Förutsägelserna om den fortsatta havsnivåhöjningen och havsförsurningen anses också

vara mycket tillförlitliga. Däremot är projektionerna av nederbörd och vindhastighet för olika regioner mer osäkra jämfört med temperaturökningen.

Det kan uppstå oväntade händelser som inte har något samband med mänsklig aktivitet, som exempelvis stora vulkanutbrott eller till och med nedfall av stora meteoriter. Klimatsystemet har dessutom inre variationer, med växelvis varma eller kalla perioder samt torra eller våta perioder. Framtidsscenarierna bör därför inte behandlas som definitiva förutsägelser utan snarare som en illustration av rimliga och möjliga framtida vägar för utvecklingen, vilket kan vara till hjälp för att genomföra klimatåtgärder.



FIGUR 5: Om vi kraftigt minskar utsläppen tyder klimatscenarierna på att utvecklingen kan bromsas. Även havsnivåhöjningen påverkas kraftigt vid fortsatt höga utsläppsnivåer.

AVSNITT 4:

Globala och regionala förändringar av extremhändelser

Flera typer av extrema väderhändelser väntas fortsätta bli allt vanligare och mer intensiva i framtiden. Det gäller till exempel skyfall, torka och värmeböljor.

Förändringar av klimatet beskrivs ofta i termer av genomsnittligt förändrad medeltemperatur, havsnivåhöjning eller ändrade nederbördsmönster. De största effekterna av klimatförändringar på samhället kan man dock förvänta sig vid extrema väderhändelser.

Ofta relaterar vi extremhändelser till naturkatastrofer, där en naturkatastrof är en oväntad extrem händelse som skadar människor, infrastruktur eller ekosystem. Huruvida en extrem händelse leder till en naturkatastrof eller inte beror på intensiteten i händelsen, men också på hur väl anpassat samhället eller ekosystemet är för att klara en sådan händelse.

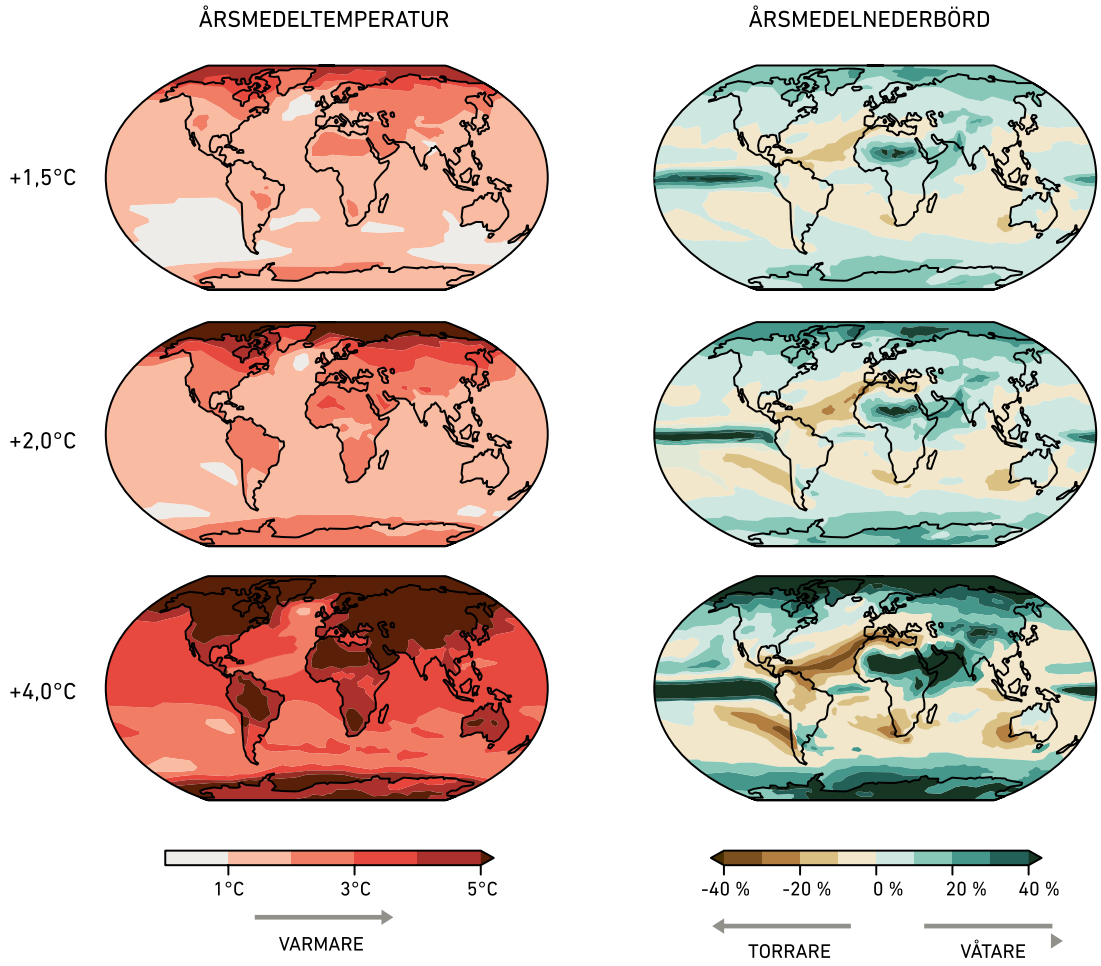
Exempel på extremhändelser är stormar och tropiska cykloner, översvämningar och torka, värmeböljor och köldperioder. Ibland kan också flera händelser som sker samtidigt eller i anslutning till varandra, ge allvarliga konsekvenser. Det kan till exempel handla om högt flöde i en älv till följd av mycket nederbörd, samtidigt som en storm ger högt vattenstånd i havet där älven mynnar.

Havsnivåer, torka och översvämning

Extrema väderhändelser sker naturligt, även utan mänsklig påverkan av klimatet. Det är dock viktigt att kunna förstå och beskriva i vilken utsträckning den globala uppvärmningen påverkar intensiteten i och frekvensen av extrema väderhändelser, om de ökar eller kanske minskar.

Den här typen av händelser kan få stora konsekvenser för samhällen i utsatta områden. Stigande havsnivåer och ökad risk för översvämningar leder exempelvis till problem i lågt liggande kustområden eller i områden som är känsliga för kusterosion. Värmeböljor och torka ökar risken för skogsbränder och påverkar jordbruk, vilket kan leda till problem med matproduktion och dricksvattentillgång. Även naturliga ekosystem påverkas, eftersom ändringar i både de gradvisa förändringarna och i extremer kan få konsekvenser för olika djur- och växtarter.

I den senaste IPCC-rapporten behandlas även osannolika händelser, som dock inte helt kan uteslutas. Om dessa skulle ske kan det få potentiellt drastiska konsekvenser, antingen regionalt eller globalt. Ett exempel på detta är en oväntat snabb kollaps av delar av Grönlands eller Västantarktis glaciärsystem, något som skulle kunna leda till snabbare havsnivåhöjning än väntat **(SE FIGUR 5)**. Forskarna är även överens om att Golfströmmen kommer försvagas något under 2000-talet, men anser det vara osannolikt att den skulle avstanna helt. Skulle det mot förmodan hända kan det dock få stora konsekvenser för vädret runt norra Atlanten, inklusive norra Europa. Sådana betraktelser är viktiga att ta med i riskanalyser.



FIGUR 6: Vid olika uppvärmningsnivåer förändras både temperatur och nederbörd på olika sätt. Generellt kan sägas att uppvärmningen kommer att öka i Arktis, över land och på det norra halvklotet. Nederbörden kommer att öka på höga breddgrader, i tropikerna och i monsunregioner, samt minska i subtropikerna.

Den som vill se mer detaljerade förändringar kan använda IPCC:s digitala atlas https://interactive-atlas.ipcc.ch/

Globala förändringar

Det finns stora regionala variationer vad gäller de flesta extremer. Generellt kan sägas att varma temperaturextremer har ökat i både frekvens och intensitet sedan 1950. Detta gäller för över 80 procent av jordens landområden. I många områden är ökningen förstärkt av regionala processer som exempelvis förändrad markfuktighet, minskning av snö och is samt förändring av atmosfärens aerosolkoncentration.

Eftersom en varmare atmosfär kan innehålla mer vattenånga har perioder med kraftig nederbörd blivit fler och intensivare över de flesta landområdena sedan 1950. Denna ökning förväntas fortsätta vid en fortsatt global uppvärmning. Översvämning av vattendrag och floder beror på en kombination av nederbörd och avdunstning i ett område. Ökad frekvens och intensitet i nederbörd har därför lett till ökad risk för översvämning i vissa områden. Det har också skett en förskjutning av säsongsvariationer gällande risken för översvämningar i områden som är påverkade av

snösmältning och förändringar i snötäckets tjocklek och utbredning. Kortare eller utebliven säsong med snö ökar risken för översvämning vintertid och risken för kraftig vårflod minskar. Även förändringar i markanvändning, som exempelvis avskogning och urbanisering, påverkar vattenflöden och därmed risken för översvämning.

Torka eller översvämning?

Även om vissa områden får en ökad risk för översvämningar kan den ökade temperaturen och avdunstningen leda till ökad risk för torka i andra områden. Vid en global uppvärmning på 4 grader skulle 50 procent av alla bebodda landområden påverkas av en ökad risk för torka.

Globalt har havsnivån stigit med 15–25 centimeter sedan 1901. Takten har ökat och under perioden 2006–2015 var den genomsnittliga höjningen 3,6 millimeter per år. Det är den snabbaste höjningen sedan den stora nordamerikanska inlandsisen smälte för 6 000–7 000 år sedan och snabbare än under huvuddelen av den föregående värmeperioden för 125 000–115 000 år sedan. Havsnivån förväntas också fortsätta att stiga i allt högre takt framöver **(SE FIGUR 5)**. Detta ökar risken för översvämningar, där lågt liggande kustområden är speciellt utsatta. Extremt höga havsnivåer, som statistiskt sett enbart förekom en gång på 100 år vid 1900-talets början, förväntas förekomma så ofta som en gång vart fjärde till vart sjätte år vid 2050.

Regionala förändringar i norra Europa

I norra Europa – och i Sverige – bestäms klimatet i stor utsträckning av atmosfären som styr väderutvecklingen med omväxlande högtryck och lågtryck med tillhörande frontsystem. Förändringar i storskaliga cirkulationsmönster samt intensiteten i och frekvensen av antalet högtryck och lågtryck kan därför ha en stor betydelse för hur den globala uppvärmningen återspeglas i regionala förhållanden.

Generellt visar klimatmodeller att lågtrycksbanorna förflyttas norrut. För Europas del pekar resultaten på en minskning av antalet lågtryck över Medelhavsområdet, men ingen tydlig förändring över norra Europa. Däremot förväntas lågtrycken ge en ökad mängd nederbörd eftersom det finns mer vattenånga i atmosfären.

Man har kunnat påvisa en ökning av frekvensen av långvarigt högtryck (så kallade blockeringar) över norra Europa, och det spekuleras i om detta är orsakat av en minskad temperaturskillnad mellan subtropiska områden och Arktis och därmed en försvagad jetström. Eftersom blockeringar är förknippade med längre perioder av likartat väder, innebär de ofta ökad nederbörd och ökad risk för översvämningar i en del områden, samtidigt som risken för torka och värmeböljor är stor i andra. Det samlade vetenskapliga bevisläget för hypotesen om hur arktisk uppvärmning påverkar vädret på lägre breddgrader kan dock beskrivas som svagt och motstridigt, och det är oklart huruvida den observerade ökningen av blockeringar är orsakad av klimatförändringar eller ett uttryck för naturlig variabilitet.

Förekomsten av köldperioder och extremt kalla vintrar förväntas fortsätta att minska. Perioder av extrem värme kommer att öka. Även perioder med intensiv nederbörd ser också ut att öka.

Landhöjningen kompenserar

Stigande havsnivåer i Skandinavien kompenseras i nuläget av den pågående landhöjningen i områden norr om cirka 58 graders latitud (ungefär i höjd med Göteborg). Längre söderut leder havsnivåhöjningen till en ökad risk för översvämningar i kustzoner. Inte bara i samband med stormar och höga vågor utan också som en kontinuerlig förändring av kustlinjen.

LITEN MINSKNING | MINSKNING | KRAFTIG MINSKNING

LITEN ÖKNING | ÖKNING | KRAFTIG ÖKNING

SÄKERHET: LÅG, MEDEL, HÖG

	SENASTE ÅRTIONDEN	KOMMANDE ÅRTIONDEN
ANTAL DJUPA LÅGTRYCK	↑	↑
EXTREM HAVSNIVÅ* NORR OM 58°N	↓	↑
EXTREM HAVSNIVÅ* SÖDER OM 58°N	↑	↑↑
INTENSIV NEDERBÖRD	↑	↑
VÄRMEBÖLJOR	↑	↑↑
KÖLDPERIODER	↓↓	↓↓
MARINA VÄRMEBÖLJOR	↑	↑
EXTREMT MILDA VINTRAR	↑↑	↑↑
EXTREMT KALLA VINTRAR	↓↓	↓↓
TORKA NORR OM 59°N	↓	Främst minskning, men ökning under våren
TORKA SÖDER OM 59°N	↑	Ökning i vissa områden under vår och sommar
ÖVERSVÄMNING AV VATTENDRAG	Ökning under höst och vinter, minskning under våren	Ökning under höst och vinter, minskning under våren

**relativ medelnivå plus stormvågor*

TABELL 1: Olika extremer och andra förändringar i norra Europa kommer att påverkas olika till följd av klimatförändringarna. Färgen indikerar konfidensen (säkerheten) i uppskattningen (låg, medium, hög) för senaste såväl som kommande årtionden.

KUNGL. VETENSKAPS-AKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

VETENSKAPEN SÄGER ★ NR 2 ★ OKTOBER 2021

En arbetsgrupp bestående av ledamöter av Vetenskapsakademien samt inbjudna experter har sammanfattat den senaste rapporten från IPCC och annan publicerad litteratur om klimatförändringar i Nordeuropa. Skriften speglar expertgruppens uppfattning och ska inte ses som ett uttalande eller ställningstagande av Kungl. Vetenskapsakademien.

DELIANG CHEN*, professor, Göteborgs universitet, Göteborg

SVANTE BJÖRCK*, professor, Lunds universitet, Lund

ERIK KJELLSTRÖM, professor, SMHI, Norrköping

THORSTEN MAURITSEN, lektor, Stockholms universitet, Stockholm

ILONA RIIPINEN*, professor, Stockholms universitet, Stockholm

HENNING RODHE*, professor emeritus, Stockholms universitet, Stockholm

ANNA RUTGERSSON*, professor, Uppsala universitet, Uppsala

* Ledamot av Kungl. Vetenskapsakademien

VETENSKAPEN SÄGER – är en serie populärvetenskapliga skrifter från Kungl. Vetenskapsakademien som produceras och distribueras med stöd från Stiftelsen Natur & Kultur. Målsättningen är att sprida vetenskapsbaserad information om viktiga och aktuella ämnen till allmänheten, särskilt sådana där forskningen har gjort stora framsteg på senare tid.

©Kungl. Vetenskapsakademien, 2021

Vetenskapsredaktör: Anna Liljemalm
och expertgruppen för *Vetenskapen säger – om klimatet*

Illustrationer: ©Johan Jarnestad/ Kungl. Vetenskapsakademien och Hui-Wen Lai/ Göteborgs universitet (figur: 3,5,6)
Omslagsbild: Adobe Stock Photo
Grafisk form: ©Fräulein Design

NATUR & KULTUR

Vetenskapsakademien säger – om klimatet produceras och distribueras genom stöd från Stiftelsen Natur & Kultur.