

Status for det vitenskapelige grunnlaget for klimaendringer

I denne delen gis det oversikt over det vitenskapelige grunnlaget for klimaendringer etter FNs klimapanel IPCCs rapport om dette i 2007. Denne delen bør oppdateres i 2013 når IPCC kommer med ny rapport.

I denne siste delen skal vi gi en kunnskapsstatus om den pågående *globale oppvarmingen*. Det er nettopp dette FNs klimapanel IPCC¹ gjør med jevne mellomrom. I 2007 kom de siste rapportene fra de ulike arbeidsgruppene, den fjerde i rekken, den første kom i 1990. Alle rapportene til IPCC er tilgjengelige på engelsk på deres hjemmeside www.ipcc.ch. Vårt siktemål er det vitenskapelige grunnlaget for *klimaendringene* som er behandlet i den første og viktigste rapporten. Alle rapportene bygger utelukkende på forskningsresultater publisert i vitenskapelige tidsskrifter. I tillegg kommer simuleringer i *klimamodeller* for dagens og fremtidens *klima* etter spesifikasjoner bestemt av IPCC. Her er produktet datafiler med resultater levert til IPCC, data som er allment tilgjengelige.

IPCC har selvsagt et sekretariat som organiserer arbeidet med å vurdere klimakunnskapen ut fra klimaforskningen. Men vurderingen blir gjort av verdens klimaforskere. Disse forskerne velges etter deres bidrag til forskningen etter forslag fra nasjonale myndigheter. Mange er direkte med i skriveprosessen som vurderingen munner ut i. Andre – og det er de fleste – kvalitetssikrer utkastene til rapporter. Selv har jeg vært med i denne kvalitetssikringen for rapportene i 2001 og 2007. Til sammen er mange hundre forskere involvert i vurderingen av flere tusen forskningspublikasjoner. Det er et imponerende apparat som får fram rapporter med svært høy vitenskapelig kvalitet.

Det er tre arbeidsgrupper i IPCC. Den første vurderer det vitenskapelige grunnlaget, den andre følger av klimaendringene for livet på jorda og den tredje vurderer tiltak som kan settes inn for å dempe oppvarmingen. Rapporten fra hver arbeidsgruppe har tre deler: Et sammendrag for politikere med hovedkonklusjonene, en teknisk oppsummering myntet på folk med en viss bakgrunn i klimakunnskap og klimaforskning og en tredje mye større rapport for klimaforskere hvor forskningsresultatene blir vurdert med henvisninger til de ulike publikasjonene. Den siste delen er hoveddelen som danner grunnlaget for de to andre. For arbeidsgruppe I er den på nærmere 1000 sider og er delt opp i ulike forskningsområder, for eksempel et kapittel med status for kunnskapen om fortidens klimavariasjoner og et kapittel som vurderer klimamodellene. Den tekniske oppsummeringen – på nærmere 100 sider - henviser hele tiden til sidene i den store rapporten der forskningen er gjennomgått.

Denne rapporten er som hoveddelen utelukkende skrevet av klimaforskere. Sammendraget for politikere – cirka 20 sider – er imidlertid påvirket av politikere og myndighetenes byråkrater. Forskerne lager et utkast til sammendraget som vurderes av mange. I forkant av publiseringen av hele rapporten blir det arrangert en konferanse der hvert land stiller med både forskere og politikere. En hovedoppgave er å bli enige om ordlyden i sammendraget for politikere. På den måten kan politikere påvirke innholdet.

Jeg har vært med å vurdere utkast til dette sammendraget før representanter fra nasjonale myndighetene har hatt sjansen til å påvirke innholdet. Slik har jeg kunnet sammenligne den endelige rapporten med utkastet slik det forelå før politikerne kom inn. Endringene gjort av politikere har vært minimale. Mitt inntrykk har vært at den endelige versjonen er blitt litt enklere å lese og mer forståelig for folk uten solid bakgrunn i klimakunnskap.

Det er klart det fins mange forskere som er misfornøyd med at de ikke er pekt ut til å være med i IPCCs arbeid. Det er også klart at de fins forskere som synes at deres forskning ikke blir tilstrekkelig vektlagt i rapportene. Derfor blir IPCC kritisert, spesielt av institusjoner i USA som har til formål å skape tvil om IPCCs konklusjoner. Kritikken mot IPCC kommer ikke lenger bare fra klimaskeptikere, men også fra forskere som mener at uttalelsene i for liten grad påpeker farene den globale oppvarmingen vil føre med seg for livet på jorda. For meg er arbeidet i IPCC imponerende, det er fantastisk at verden har klart å organisere slike brede vurderinger der verdens beste forskere tar del.

De som leser rapportene nøye blir overrasket over hvor nøkternt de er skrevet. IPCC gjør helhetsvurderinger basert på all publisert forskning. Forskningen fortsetter selvsagt hele tiden. Til stadighet kommer det nye resultater som gir krav på oppmerksomhet, ikke minst kan vi lese om nye funn i avisene. Forskere intervjues og vil gjerne skape blest om sin egen forskning. For eksempel har de fleste av oss de siste årene lest mye om smelting av is på Grønland og frigjøring av metan i Arktis. Resultatene kan være viktige indikasjoner, men det er viktig at noen vurderer all forskning i sammenheng over tid. Vi bør ikke hoppe alt for lett på resultatene i ett enkelt forskningsarbeid. Om noen skulle finne på å bygge sin kunnskap på hva som for eksempel er blitt skrevet i avisene, ville en kunne komme til underlige konklusjoner.

Når det er sagt, er selvsagt klimaforskning ikke perfekt forskning utført av perfekte mennesker. Det forekommer feil i publiserte artikler og det forekommer feil, noen ganger grove, i IPCCs vurderinger.

En alternativ rapport i 2001

Mange spør etter uavhengige vurderinger. Det gjorde også president George W. Bush i etterkant av IPCCs rapport fra arbeidsgruppe I i 2001. Vitenskapsakademiet i USA satte da ned en gruppe på 11 prominente forskere med et oppdrag om å skrive en uavhengig rapport om det vitenskapelige grunnlaget for global oppvarming. Deres rapport *Climate Change Science – An analysis of some key questions (CCS)*² var en uavhengig analyse av klimasituasjonen skrevet på 28 sider. CCS tjente som et supplement og en kommentar til IPCCs rapport fra 2001 om det vitenskapelige grunnlaget.

Flere av medlemmene i komiteen var godt kjente for norske forskere, slik som nobelpristaker F. Sherwood Rowland og meteorologiprofessorene Richard S. Lindzen og John M. Wallace. De fleste av de 11 hadde holdt en lav profil i debatten om global oppvarming og hadde i liten grad vært med i IPCC. Et unntak var Professor Lindzen. Han var gjesteforsker ved Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo, et år på sekstitallet og er medlem av Det norske vitenskapsakademi. Han har lenge argumentert for at den globale oppvarmingen blir mindre enn det IPCC kommer fram til, og er i følge *Science* USAs mest siterte ”drivhusmotstander” i akademiske arbeider. Han var også en av hovedforfatterne for et av kapitlene i IPCCs rapport fra 2001. Et annet unntak var Professor James Hansen, som i 1988 avfyrte en storm i amerikanske media da han informerte Kongressen om at den globale oppvarmingen allerede var i gang.

Til tross for at det i utgangspunktet var antatt å være betydelige forskjeller i medlemmenes synspunkter på global oppvarming, ga CCS en klar støtte til IPCCs konklusjoner. Den konkluderte blant annet med: *Det er et faktum at temperaturene er i ferd med å stige Endringene som er observert de siste tiårene er trolig for det meste forårsaket av menneskelig aktivitet ... og Global oppvarming vil trolig kunne gi en alvorlig negativ sosial og økonomisk innvirkning ved slutten av århundret.*

I omfang og innhold var rapporten en mellomting av IPCCs oppsummering for politikere og det tekniske sammendraget. Rapporten var spesielt god i å påpeke hva vi vet, hva som er usikkert og hva som forskningen bør konsentrere seg om framover. Så langt som mulig la de fram fakta og vaktet seg for å fortelle samfunnet hva det bør gjøre for å redusere utslipp.

I sitt mandat skulle komiteen blant annet presisere hva som var de viktigste forskjeller mellom deres rapport og IPCCs rapport. De sa seg godt fornøyd med den tekniske rapporten fra IPCC og syntes den ga en utmerket oversikt over dagens kunnskap. Siden det er blitt kritisert at representanter fra nasjonale myndigheter har hatt innflytelse på skrivingen av sammendraget for politikere, ble komiteen spesielt spurt om dette sammendraget i tilstrekkelig grad reflekterte forskningen som ligger til grunn.

Komiteen fant at dette var tilfelle. De spurte alle USAs representanter i IPCC-prosessen om de syntes at deres synspunkter var blitt rimelig reflektert i IPCCs sammendrag. Alle deltakerne var fornøyde. Komiteen mente selv at IPCCs sammendrag legger for lite vekt på å få fram grunnlaget for *usikkerhet*, og antydte at den i stedet legger for stor vekt på å få fram hvilke bekymringer som er knyttet til global oppvarming. Dette innebar altså en mild kritikk.

Senere er det flere nasjonale vitenskapsakademier som har vurdert global oppvarming. En av de siste er fra Royal Society, Storbritannia³. Alle disse vurderingen kommer omtrent til samme konklusjoner som IPCC.

Den tekniske rapporten

Den fjerde tekniske rapporten fra 2007⁴ har til hensikt å få fram relevant informasjon for å forstå det vitenskapelige grunnlaget for klimaendringer. Vi mangler ennå en fullstendig fysisk forståelse av *klimasystemets* mange komponenter og deres rolle i klimaendringer. Vekselvirkning mellom sentrale komponenter i klimasystemet setter derfor begrensninger på vår mulighet til fullt ut å forutse jordas fremtidige klimaendringer. Sentral usikkerhet inkluderer rollen til skyer, *kryosfæren*, hav, arealbruk og koblinger mellom klima og *biogeokjemisk klimatilbakekopling*. Rapporten reflekterer den vitenskapelige forståelsen basert på forskningen som har vært publisert eller godkjent for publisering i vitenskapelige tidsskrift innen midten av 2006. Det fokuseres på sentrale resultater og understreker hva som er nytt siden den tredje hovedrapporten.

Vi vil presentere den tekniske rapporten og følge strukturen til det teknisk sammendraget, som er som følger:

- Den vitenskapelig forståelsen for naturlige og antropogene *strålingspådriv*

- Observerte endringer i klimasystemet
- Forklaringer til observerte klimaendringer basert fysisk forståelse og klimamodeller
- Simuleringer av klimaendringer på kort og lang sikt
- Sammendrag av de mest robuste funnene og sentrale usikkerheter

Hvert utsagn i det tekniske sammendraget som inneholder vesentlige resultater, er fulgt av en referanse til korresponderende kapittel og avsnitt i den store rapporten som vi har kalt hovedrapporten (noe vi sløyfer her). Vi vil følge rekkefølgen i rapporten, sitere de viktigste utsagnene og presentere de viktigste tallene. I tillegg kommer noen egne kommentarer. Rapporten legger vekt på å dokumentere økning i kunnskap siden siste rapport, noe som har mindre betydning for oss. Det er på ingen måte en enkel oppgave å presentere rapporten, den er skrevet på et kronglet engelsk der det synes å være en skam å sette punktum. Rapporten krever solide bakgrunnskunnskaper, slike vi har prøvd å formidle i denne boka til nå. Håpet er at boka til nå har gitt nødvendig bakgrunnskunnskap.

Håndtering av usikkerhet

IPCC prøver å ha en konsekvent behandling av usikkerhet i alle de tre arbeidsgruppene. Forfatterne av den fjerde hovedrapporten ble derfor bedt om å følge et sett med retningslinjer for å bestemme og beskrive usikkerheter i sine analyser og vurderinger. Vi vil skissere måten disse retningslinjene har blitt anvendt av arbeidsgruppe I.

Usikkerhet av ulik art oppstår i dynamiske systemer som enten er kaotiske eller som ikke fullt ut er forutbestemte av naturen. Dette begrenser også vår mulighet til å ta høyde for alle aspekter ved klimaendringer.

Usikkerhet kan bli klassifisert på litt ulike måter. En hovedtype er knyttet til målte eller estimerte verdier og kalles usikkerhet i verdier. Slik usikkerhet oppstår fra en ufullstendig bestemmelse av fastsatte verdier eller resultater, for eksempel når data er unøyaktige eller ikke er helt representative for det fenomenet som studeres. En annen hovedtype er strukturell usikkerhet. Strukturell usikkerhet oppstår fra en ufullstendig forståelse av prosessene som kontrollerer bestemte verdier eller resultater, for eksempel når modeller, som brukes for å analysere og vurdere, ikke inkluderer alle relevante prosesser. Usikkerhet for verdier er vanligvis beregnet ved å anvende statistiske metoder og uttrykkes ved *sannsynligheter*. Strukturell usikkerhet er beskrevet ved forfatternes helhetsvurdering av deres tiltro til resultatene. I begge tilfeller er beregning av usikkerhet forbundet med en beskrivelse av kunnskapens begrensninger og involverer av denne grunn ekspertvurderinger av kunnskapens holdbarhet.

Den vitenskapelige litteraturen som er vurdert, bruker også andre måter for å angi usikkerhet. En skiller ofte mellom tilfeldige feil som reduseres ved å øke antallet målinger, og systematiske feil som ikke blir mindre om antall målinger øker. Betydelig oppmerksomhet er blitt satt inn på å identifisere systematiske feil i håndtering av måleserier. Spesielle statistiske metoder basert på kvantitativ analyse, har blitt utviklet for å kunne påvise (detektere) og tilskrive årsakene til klimaendringer (attribution) og for å produsere sannsynlighetsberegninger for fremtidige klimaparametere (*deteksjon og tilskrivning*).

Usikkerhetsguiden, utarbeidet i forkant av arbeidet med den fjerde klimarapporten, trekker for første gang et forsiktig skille mellom ulike grader av pålitelighet i vår vitenskapelige forståelse (*konfidens*) og sannsynligheten for bestemte resultat. Dette gjør at forfattere av rapporten for eksempel kan uttrykke med *høy pålitelighet* at en hendelse er *svært usannsynlig*, så vel som å uttrykke med *høy pålitelighet* at en hendelse er like sannsynlig som usannsynlig (for eksempel at utfallet av å kaste en mynt like gjerne kan være krone som mynt). Pålitelighet og sannsynlighet er to forskjellige begreper, men i praksis er de ofte knyttet til hverandre.

Standardtermer benyttet for å definere nivå for pålitelighet (konfidens) er som følger:

Terminologi for pålitelighet	Grad av pålitelighet for korrekt resultat
Svært høy grad av pålitelighet	Minst 9 av 10 sjanse for korrekt resultat
Høy grad av pålitelighet	Om lag 8 av 10 sjanse
Middels grad av pålitelighet	Om lag 5 av 10 sjanse
Lav grad av pålitelighet	Om lag 2 av 10 sjanse
Veldig lav grad av pålitelighet	Mindre enn 1 av 10 sjanse

Lav og veldig lav pålitelighet er bare brukt for områder av stor interesse og hvor et risikoperspektiv er rimelig. I rapporten brukes også en lignende benevnelse: *nivå for vitenskapelig forståelse* ved beskrivelse av usikkerhet i ulike strålingspådriv.

Standardbegrep brukt til å definere sannsynlighet for en hendelse eller et resultat er:

Terminologi for sannsynlighet	Grad av sannsynlighet for en hendelse/resultat
Nærmest sikkert	> 99 % sannsynlighet
Svært sannsynlig	> 95 % sannsynlighet
Meget sannsynlig	> 90 % sannsynlighet
Sannsynlig	> 66 % sannsynlighet
Mer enn 50 % sannsynlig	> 50 % sannsynlighet
Like sannsynlig som usannsynlig	33 til 66 % sannsynlighet
Usannsynlig	< 33 % sannsynlighet
Meget usannsynlig	< 10 % sannsynlighet
Svært usannsynlig	< 5 % sannsynlighet
Ekstremt usannsynlig	< 1 % sannsynlighet

Hvis ikke annet er oppgitt, er verdier vurdert etter beste estimat med et konfidensintervall på 90 %. Det vil si at det er estimert en sannsynlighet på 5 % for verdier som er lavere enn den laveste enden av rangeringen, eller over den øvre enden av skalaen. I enkelte tilfeller kan egenskapen til en verdi indikere en asymmetrisk fordeling av usikkerhetsmarginen rundt det beste estimatet. I slike tilfeller er usikkerhetsmarginen i rapporten gitt fra en verdi og til en verdi i en klammeparantes.

VIII. 1. ENDRINGER AV ANTROPOGENE OG NATURLIGE KLIMAPÅDRIV

Vi har forklart hvordan jordas globale gjennomsnittsklima er bestemt av innkommende energi fra sola, klimasystemets strålingsegenskaper og utveksling av energi mellom de ulike komponentene i systemet. Vi har spesielt forklart hvordan endringer i *solstrålingen*, atmosfærens innhold og endringer i jordoverflaten på flere måter kan forandre jordas globale energibudsjett, noe som fører til ulike strålingspådriv på klimasystemet. Pådrivene, både naturlige og antropogene, kan ha svært forskjellig størrelse og ha ulike egenskaper i tid og rom. Positive og negative strålingspådriv bidrar til en økning eller en reduksjon av den globale gjennomsnittstemperaturen ved overflaten (*global overflatetemperatur*). Dette kapitlet gir en oppdatering av forståelsen av antropogene og naturlige strålingspådriv. Avsnittet oppsummerer også endringer i overflatens energibudsjett og koblingen dette har til *det hydrologiske kretsløpet*.

1.1 Drivhusgasser

Fig. 1 gir en grafisk fremstilling av de ulike pådrivene siden den *industrielle revolusjon*. Den økende konsentrasjonen av *drivhusgasser* i atmosfæren utgjør det dominerende strålingspådrivet i denne perioden, dvs. siste 250 år. Konsentrasjonsøkningen over de siste 250 år skyldes hovedsaklig menneskelig aktivitet. Noen drivhusgasser er helt og holdent et resultat av menneskelig aktivitet. Bidraget til strålingspådrivet for hver enkelt drivhusgass over en viss periode er bestemt av endringer i konsentrasjonen og hvor effektivt gassen kan forstyrre strålingsbalansen.

Konsentrasjonen av en drivhusgass i atmosfæren er nettoresultatet av historiske utslipp og det som forsvinner fra atmosfæren til hav og *biosfære* over land. De aktuelle gassene og partiklene slippes ut i atmosfæren ved menneskelig aktivitet. Utslippene blir redusert fordi kjemiske og fysiske prosesser fører til at gassene fjernes. Med unntak av *karbondioksid* (CO₂), fjerner disse prosessene generelt en gitt andel av en gass i atmosfæren hvert år (en fast fjerningsrate). Den inverse fjerningsraten (1/fjerningsraten) gir gassens gjennomsnittlige *levetid* i atmosfæren. I noen tilfeller kan fjerningsraten variere med gassens konsentrasjon og atmosfærens tilstand, for eksempel temperatur eller kjemiske forhold.

Drivhusgasser som lever lenge i atmosfæren (i IPCCs engelske terminologi: *long-lived greenhouse gases*, LLGHG_{er}), som for eksempel karbondioksid, metan og lystgass, er kjemisk stabile og holder seg i atmosfæren på tidsskalaer fra tiår til flere hundre år eller lengre. Slik har utslipp en langsiktig innflytelse på atmosfæren. Fordi gassene "lever" lenge, blir de godt blandet gjennom hele atmosfæren, mye raskere enn de blir fjernet. På den måten kan deres globale konsentrasjon bli nøyaktig estimert ut fra representative målinger fra få steder.

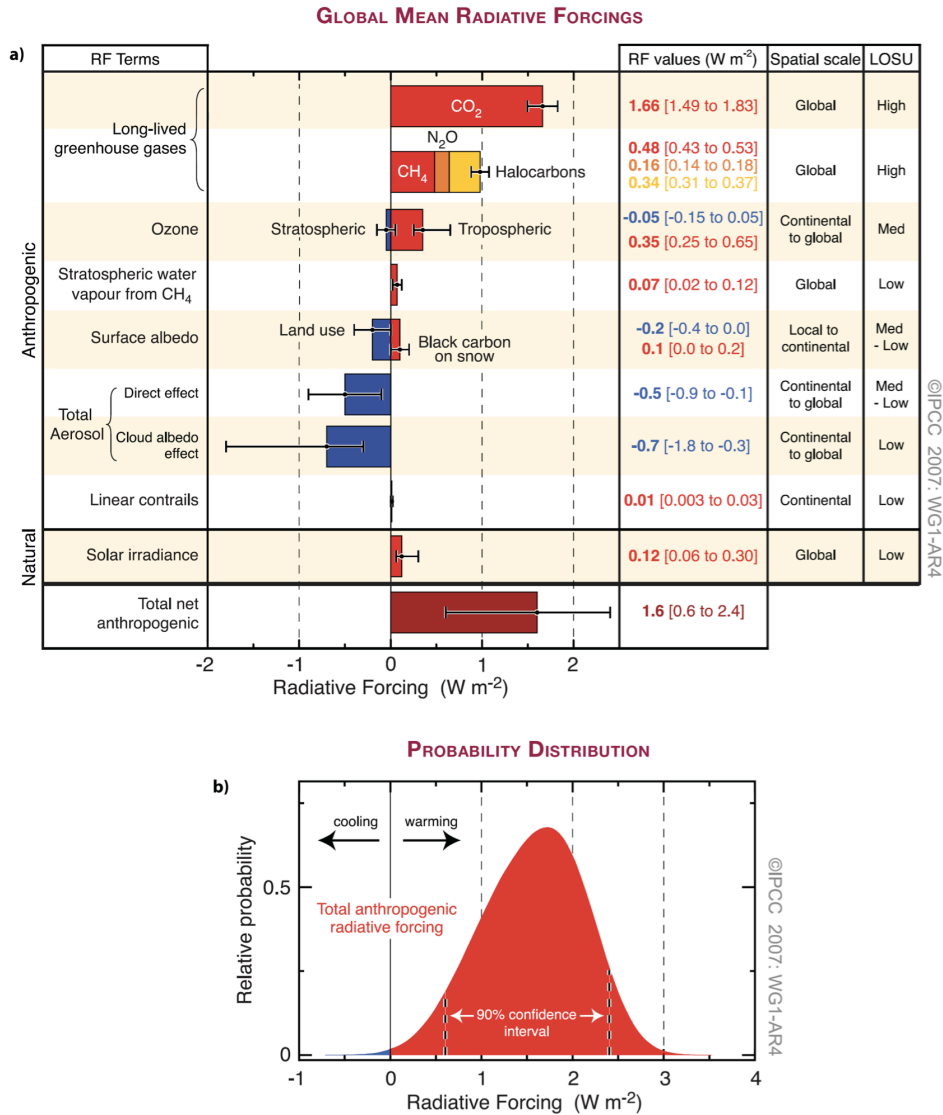


Fig. 1: (Figure TS.5). Øverst: Globalt midleste strålingspådriv i 2005 og deres 90 % konfidensintervall for ulike faktorer og mekanismer. Kolonnene på høyre side spesifiserer de beste estimatene og konfidensintervaller (RF-verdier); typisk geografisk utbredelse av pådrivet (Spatial scale); og nivå for vitenskapelig forståelse (LOSU) som indikerer kofindensnivået som forklart i teksten. Feilene for CH₄, N₂O og halokarboner har blitt kombinert. Netto antropogent strålingspådriv og dets variasjonsbredde er også vist. På grunn av de asymmetriske usikkerhetsintervallene for enkelte faktorer, kan ikke beste estimater og usikkerhetsintervaller regnes ut ved direkte addisjon av de individuelle leddene; verdiene oppgitt her ble regnet ut ved hjelp av en Monte Carlo-teknikk. Pådrivsfaktorer som ikke er inkludert her blir regnet for å ha et veldig lavt LOSU. Vulkanske aerosoler bidrar i tillegg med naturlig pådriv, men på grunn av deres episodiske natur er de ikke inkludert på figuren. Variasjonsbredden for flystriper (linear contrails) inkluderer ikke mulige effektene fra flytrafikk på skydekket. (b) Sannsynlighetsfordelingen for samlet globalt midlet strålingspådriv fra alle antropogene faktorer vist i (a). Fordelingen er utregnet ved å kombinere de beste estimatene og usikkerheten fra hver komponent. Spredningen i fordelingen økes signifikant av de negative pådrivsloddene, som har større usikkerhet enn de positive leddene. Tatt fra IPCCs rapport på www.ipcc.ch.

Vi har tidligere forklart at karbondioksid (CO₂) ikke har en spesifikk levetid fordi gassen gjennomgår et kontinuerlig kretsløp mellom atmosfæren, havet og biosfæren over land

(*karbonkretslopet*). Slik involverer netto fjerning fra atmosfæren en rekke prosesser med ulike tidskalaer. Kortlevde gasser, som for eksempel svoveldioksid og karbonmonoksid, er kjemisk reaktive og blir generelt fjernet fra atmosfæren ved naturlige oksideringsprosesser, ved avsetning på overflaten eller utfelling i nedbør. Dermed varierer konsentrasjonene svært mye.

Ozon er en signifikant drivhusgass som blir dannet og ødelagt ved kjemiske reaksjoner som involverer andre gasser i atmosfæren. I *troposfæren* skjer den menneskelige påvirkningen på ozon primært gjennom endringer i andre gasser, som fører til dannelse av ozon. I *stratosfæren* har mennesker påvirket endringer i ozonets fjerningsrate ved utslipp av *klorfluorkarboner* (KFKer) og andre substanser som bryter ned ozon.

Karbondioksid, metan og lystgass er de tre viktigste drivhusgassene som menneskene påvirker. Rapporten har følgende hovedkonklusjoner om disse gassene:

De aktuelle konsentrasjonene av CO₂ og metan (CH₄) overskrider langt preindustrielle verdier funnet for atmosfærens sammensetning i polare *iskjerner* datert 650 000 år tilbake i tid. Flertallige bevisføringer bekrefter at den postindustrielle økningen av disse gassene ikke stammer fra naturlige mekanismer.

Det totale strålingspådrivet på jordas klima, på grunn av økningene i konsentrasjonene av LLGHGene CO₂, metan (CH₄) og lystgass (N₂O) - og *svært sannsynlig* økningsraten av det totale pådrivet fra disse gassene siden 1750 - har ikke funnet sted de siste 10 000 år eller mer.

Disse to konklusjonene peker med all tydelig på at verden befinner seg i en helt spesiell klimasituasjon med store antropogene pådriv som verden aldri tidligere har opplevd. Vi vet sikkert at konsentrasjonene av disse tre drivhusgassene øker og at økningen er antropogen. Videre vet vi med sikkerhet at pådrivene dette gir i form av økt *drivhuseffekt* er vesentlig større enn noen gang tidligere i vår *interglasial* (mellomistid) *holosen*, trolig heller ikke tidligere over de siste *istidene* (glasial). IPCC finner at for de siste fire tiårene har økningsraten i det kombinerte strålingspådrivet fra disse drivhusgassene har vært omtrent 1 W/m². Dette er svært sannsynlig minst seks ganger raskere enn på noe tidspunkt i de to årtusenene før den industrielle perioden – den perioden som dekkes med høy tidsoppløsning av iskjerner. Estimatenes av strålingspådrivet fra disse gassene, som har lang oppholdstid i atmosfæren, er mer nøyaktige enn for andre strålingspådriv. Det dreier seg om sikker kunnskap med stor vitenskapelig forståelse for prosessene som er involvert.

For CO₂, klimagassen med størst antropogent pådriv, har IPCC følgende konklusjoner:

Konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren har økt fra en preindustriell verdi på 280 ppm til 379 ppm i 2005.

Denne økningen kan sammenlignes med *naturlige klimavariasjoner* i løpet av de siste 8000 årene før industrialiseringen. I løpet av denne tiden økte konsentrasjonen av CO₂ med kun 20 ppm, og variasjoner over tidsskalaer fra noen tiår til århundrer av år var under 10 ppm. Siden 1750 har imidlertid konsentrasjonen av CO₂ økt med 100 ppm og den øker for hvert år som går. Den årlige økningsraten, som varierer noe fra år til år, har aldri vært større enn i

løpet av siste tiåret siden målingene startet i 1957. Gjennomsnittet var på 1,9 ppm mellom 1995 og 2005, men 1,4 ppm for perioden 1950-2000.

Økningen av atmosfærisk CO₂ siden preindustriell tid står for et strålingspådriv lik $1,66 \pm 0,17 \text{ W/m}^2$, et bidrag som dominerer over alle andre strålingspådriv som det er blitt tatt hensyn til i IPCCs rapport.

Utslipp av CO₂ fra fossilt brensel og fra effektene av endringer i bruk av landområder (*bruk av land og endring i bruk av land*) på planter og karbon i jordsmonnet, er de primære kildene til økt CO₂ i atmosfæren.

Det er altså utslippene og *avskoging* som er årsaken til økningen av CO₂. IPCC finner at rundt 65 % av antropogene CO₂-utslipp siden 1750 kommer fra forbruk av fossilt brensel, mens omtrent 35 % skyldes endringer i bruk av landområder. Omtrent 45 % av utslippene dette representerer har forblitt i atmosfæren. Rundt 30 % har blitt tatt opp i havet, mens resten har blitt tatt opp av den terrestriske biosfæren. Omtrent halvparten av en utslippspuls av CO₂ til atmosfæren blir fjernet i løpet av 30 år, nye 30 % blir fjernet i løpet av noen århundrer og de gjenværende 20 prosentene forblir i atmosfæren i tusenvis av år.

I løpet av de siste tiårene har utslipp av CO₂ fortsatt å stige.

Tabell 1 viser CO₂-budsjettene estimert for de siste tiårene. De globale årlige utslippene av fossilt karbondioksid steg fra et gjennomsnitt på $6,4 \pm 0,4 \text{ GtC}$ per år på 1990-tallet til $7,2 \pm 0,3 \text{ GtC}$ per år i perioden 2000–2005. Karbonutslippene knyttet til endring i bruk av landområder er usikre, estimatene ligger mellom 0,5 til 2,7 GtC per år.

Siden 1980-tallet har naturlige prosesser som gir opptak av CO₂ i den terrestriske biosfæren (sluket i form av ubrukt land i Tabell 1) og i havet, fjernet rundt 50 % av antropogene utslipp (det vil si fossile CO₂-utslipp og flukser som skyldes endringer i bruk av landområder i Tabell 1). Disse fjerningsprosessene er påvirket av CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren og av klimaendringer.

Det er tydelig at større konsentrasjoner av CO₂ øker opptaket i den terrestriske biosfæren. Dette opptaket varierer mer enn opptak i hav og var omtrent 1 GtC per år høyere på 1990-tallet enn på 1980-tallet. Målinger viser at mengden oppløst CO₂ i havoverflaten har økt nesten alle steder i takt med økningen av atmosfærisk CO₂, men med stor variasjon i tid og rom. Slik øker opptaket av CO₂ både i atmosfære, hav og terrestrisk biosfære. Dette er i seg selv et greit bevis på at årsaken til økningen i konsentrasjonene av CO₂ i atmosfæren ligger i våre utslipp og endring i bruk av landområder.

Tab. 1: (Table TS.1). Det globale karbonbudsjettet. Per definisjon er positive verdier flukser av CO₂ til atmosfæren, mens negative verdier betyr flukser fra atmosfæren, det vil si sluk av CO₂. Utslipet av fossilt karbondioksid for 2004 og 2005 er basert på midlertidige estimater. På grunn av begrenset antall tilgjengelige studier er usikkerhetsintervallene for nettofluksene fra overflaten til atmosfæren gitt ved 65 % konfidensintervaller og inkluderer ikke mellomårlig variasjon. Enheten er GtC per år. IT betyr ikke tilgjengelig.

	1980-tallet	1990-tallet	2000–2005
Økning i atmosfæren	3.3 ± 0.1	3.2 ± 0.1	4.1 ± 0.1
Fossile CO ₂ -utslipp	5.4 ± 0.3	6.4 ± 0.4	7.2 ± 0.3
Nettofluks fra havet til atmosfæren	-1.8 ± 0.8	-2.2 ± 0.4	-2.2 ± 0.5
Nettofluks fra bakken til atmosfæren	-0.3 ± 0.9	-1.0 ± 0.6	-0.9 ± 0.6
Inndelt som følger			
Fluks fra endringer i bruk av Landområder	1.4 [0.4 til 2.3]	1.6 [0.5 til 2.7]	IT
Sluk i form av ubrukt land	-1.7[-3.4 til 0.2]	-2.6 [-4.3 til -0.9]	IT

Opptak av karbon og lagring i den terrestriske biosfæren skriver seg fra nettoforskjellen mellom opptak som skyldes vegetasjonsvekst og endringer i gjenvekst av skog og utslipp som skyldes nedbrytning ved respirasjon, avlinger, avskoging, branner, skader ved forurensning og andre faktorer som påvirker biomasse og jordsmonn.

Estimat av nettoflukser av CO₂ ved bakken viser et signifikant opptak på midlere breddegrader på nordlige halvkule, men nesten ingen flukser fra bakken til atmosfæren i tropene. Dette tyder på at den tropiske avskogingen er mer eller mindre balansert av gjenvekst. IPCC peker på at endringer i brannfrekvensen i forskjellige områder har påvirket netto opptak av karbon. I skogdekte *regioner* ser det ut som om utslipp som skyldes branner har økt i løpet av de siste tiårene.

Det observeres til dels store variasjoner i vekstrater for CO₂ i atmosfæren fra år til år. IPCC finner at de er kontrollert av fluksene av CO₂ mellom atmosfæren og den terrestriske biosfæren. Det er også slike variasjoner i fluksene til hav, men de er ikke like store. Variasjonen i den terrestriske biosfæren er drevet av kortsiktige klimasvingninger som påvirker det opptaket av CO₂ som skyldes plantevekst og retur av CO₂ til atmosfæren som skyldes nedbrytning av organisk materiale og branner. Hendelser av ENSO (*El Niño-Sørlige oscillasjon*) er en viktig kilde til mellomårlig variasjonen i vekst av CO₂ i atmosfæren. ENSO påvirker fluksene av CO₂ ved å påvirke land- og havtemperatur, nedbør og branntilfeller.

Vi ser av Tabell 1 at de direkte effektene som økt atmosfærisk CO₂ har på terrestrisk karbonopptak er usikre. De er enda ikke kvantifisert på en troverdig måte. Plantevekst kan bli stimulert ved økende CO₂-konsentrasjon i atmosfæren (*karbondioksidgjødsling*) og ved nedfall av næring gjennom luftforurensning. De fleste studier antyder imidlertid at slike responser kan være kortvarige og sterkt knyttet til andre effekter, så som tilgang på vann og næring. På samme måte er også effektene av klimaet – gjennom temperatur og fuktighet - på nedbrytning av avfall og jordsmonn usikre.

Når det gjelder metan tar vi bare med følgende konklusjon:

I tillegg til en nedgang over siste 15 år, har vekstraten for atmosfærisk metan vist en høy mellomårlig variasjon. Dette er ikke ennå fullgodt forklart.

De største bidragene til mellomårlig variasjon i perioden 1996-2001 ser ut til å være variasjoner i utslipp fra våtmarker og brenning av biomasse. Flere studier indikerer at metanutslipp fra våtmarker er svært sensitive for temperatur, og at de også blir påvirket av hydrologiske endringer. Tilgjengelige modellestimer indikerer alle en økning i våtmarksutslipp grunnet klimaendringer, men variasjonen i denne tilbakekoplingen er stor.

Status for de andre drivhusgassene er som følger:

Klorfluorkarboner (KFKer) og hydroklorfluorkarboner (HKFKer) er drivhusgasser som utelukkende har en antropogen opprinnelse. Gassene blir brukt i mange forskjellige sammenhenger. Utslipp har minnet på grunn av utfasingen under Montrealprotokollen, og konsentrasjonene til KFK-11 og KFK-13 minker nå på grunn av naturlige fjerningsmekanismer.

I 2005 bidro gassene omfattet av Montrealprotokollen til et direkte strålingspådriv på $0,32 \pm 0,03$ W/m². Som gruppe bidrar disse gassene med rundt 12 % av det totale pådrivet som skyldes LLGHGer.

Konsentrasjonene av industrielle fluoriserte gasser dekket av Kyotoprotokollen (HFCs, PFCer, SF₆) er relativt små, men øker raskt. Deres totale strålingspådriv i 2005 var 0,017 W/m².

Troposfærisk ozon er en drivhusgass med kort oppholdstid i atmosfæren. De kjemiske forbindelsene som fører til dannelse av troposfærisk ozon inkluderer karbonmonoksid, nitrogenoksider (inkludert kilder og mulige langtidstrender i lyn) og formaldehyd. Strålingspådrivet fra troposfærisk ozon er betydelig og estimert til å være 0,35 [+ 0.25 til + 0.65] W/m² med et middels nivå for vitenskapelig forståelse av prosessene.

Strålingspådrivet som skyldes reduksjon av stratosfærisk ozon, forårsaket av gassene under Montrealprotokollen, er revurdert til å være $-0,05 \pm 0,10$ W/m², dvs. mindre enn i forrige hovedrapport. Nivået for vitenskapelig forståelse vurderes til å ligge på et middels nivå.

1.2 Aerosoler

Om *aerosoler* sier rapporten følgende:

Det direkte strålingspådrivet fra aerosoler er nå betydelig bedre kvantifisert enn tidligere. Dette representerer et betydelig fremskritt i vår vitenskapelige forståelse siden forrige rapport, hvor flere av komponentene ble karakterisert med et svært lavt nivå for vitenskapelig forståelse. Et totalt, direkte strålingspådriv fra alle typer aerosoler kan nå beregnes for første gang til $-0,5 \pm 0,4$ W/m² med et middels lavt nivå for vitenskapelig forståelse.

Rapporten mener at bedre in situ-, satellitt- og bakkebaserte målinger nå har gjort det mulig å verifisere globale modellsimuleringer av aerosoler. Det totale, direkte strålingspådrivet av aerosoler er estimert for første gang. Det største bidraget kommer fra sulfater ($-0,4 \pm 0,2$

W/m² for sulfater). To nylige utslippsstudier, basert på data fra iskjerner, indikerer at globale, antropogene sulfatutslipp minket i perioden 1980-2000, og at den geografiske fordelingen av strålingspådrivet fra sulfater ble forandret. Utslipp fra land som Kina og India har økt, mens utslipp fra Europa og Nord-Amerika har minket.

Effektene av antropogene aerosoler på skyer med flytende vann gir en indirekte aerosoleffekt (skyalbedeffekt). Det er nå estimert for første gang til - 0,7 W/m² [- 0,3 to - 1,8] W/m².

Antall modellstudier av *albedo*-effekten for skyer med vann i væskefase er økt betydelig siden forrige rapport. Studiene innlemmer flere typer aerosoler og beskriver flere prosesser knyttet til samvirke mellom aerosoler og skyer. Tross fremskritt er det fortsatt stor usikkerhet i både observasjoner og modellering, noe som fører til et lavt nivå for vitenskapelig forståelse.

1.3 Bruk av jordoverflaten

Det konkluderes med følgende:

Menneskeskapte endringer i dekket av jordoverflaten har økt den globale overflatealbedoen. Dette medfører et strålingspådriv på - 0,2 ± 0,2 W/m², det samme som i forrige rapport, med et middels lavt nivå for vitenskapelig forståelse. Sot-aerosoler avsatt på snø reduserer overflatens albedo og er estimert å gi et strålingspådriv på + 0,1 ± 0,1 W/m², med et lavt nivå for vitenskapelig forståelse.

Usikkerhet i estimatene i endringer i jordoverflaten omfatter kartlegging og karakterisering av vegetasjon fra den industrielle revolusjon, parametrisering av strålingsprosesser ved bakken og systematiske feil i modellenes klimavariabler. Sotpartikler i snø gir redusert snøalbedo, et positivt strålingspådriv som kan påvirke snøsmelting.

1.4 Variasjon i stråling fra sola

Her er konklusjonen som følger:

Kontinuerlig overvåkning av solas totale irradians dekker nå de siste 28 år. Observasjonene viser en veletablert solar 11-årssyklus som varierer med 0,08 % fra solsyklusminimum til -maksimum og ingen signifikant langtidstrend.

Dagens forståelse av solfysikk og de kjente kildene til variasjoner i solas irradians indikerer sammenlignbare irradiansnivå i løpet av de to siste solsyklusene. Den viktigste kjente kilden til dagens variasjon i irradians er forekomsten av *solflekker* og *fakler*.

Det estimerte direkte strålingspådrivet siden 1750 som skyldes endringer i solstrålingen er + 0,12 [+ 0,06 til + 0,3] W/m². Dette er mindre enn halvparten av estimatet som ble gitt i forrige rapport, og har et lavt nivå for vitenskapelig forståelse.

Det reduserte strålingspådraget skriver seg fra en reevaluering av langtidsendringer av solas irradians siden en startet å observere solflekker (1610). Forskningen har ført til en heving av nivået for forståelsen, men det er fortsatt lavt. Usikkerheten skyldes mangel på direkte observasjoner og en ufullstendig forståelse av mekanismene som gir solvariasjoner på lange tidsskalaer.

IPCC har selv sagt vurdert all forskning knyttet til Svensmarks hypotese om kosmisk stråling og klima (se Del VI, kap. 2) og skriver følgende:

Empiriske relasjoner er blitt rapportert mellom ionisering av atmosfæren fra solmodulert kosmisk stråling og globalt midlet lavt skydekke, men bevis for en systematisk indirekte soleffekt er fortsatt tvetydig.

Som vi har diskutert tidligere, er det blitt foreslått at *galaktisk kosmisk stråling*, med tilstrekkelig energi til å nå troposfæren, kan forandre mengden av *skykondensasjonsskjerner* og dermed de mikrofysiske egenskapene ved skyer (dråpeantall og konsentrasjon). Dermed kan det bli induert endringer i skyprosesser som er analoge til den indirekte skyalbedoeffekten til troposfæriske aerosoler. Slik er det foreslått at kosmisk stråling kan gi opphav til et indirekte solstrålingspådriv. Noen studier har undersøkt forskjellige korrelasjoner med skyer i bestemte områder eller brukt begrensede skytyper eller begrensede tidsperioder. Likevel, tidsserier for kosmisk stråling ser ikke ut til å korrespondere med det totale globale skydekket etter 1991 eller med globalt lavt skydekke etter 1994. IPCC skriver: Sammen med mangelen på beviste fysiske mekanismer og rimelighet for andre årsakssammenhenger som påvirker endringer i skydekket, gjør dette sammenhengen mellom aerosolforandringer på grunn av galaktisk kosmisk stråling og skydannelse kontroversiell.

1.5 Vulkanutbrudd

Vi har før forklart hvordan store vulkanutbrudd kan få betydning for klima. IPCC oppsummer forskningen som følger:

Eksplorative vulkanutbrudd gir en kraftig økning i konsentrasjonen av stratosfæriske sulfatpartikler. Ett enkelt utbrudd kan derfor avkjøle globalt gjennomsnittsklima i noen få år.

Vi har sett hvordan aerosoler fra episoder med store vulkanutbrudd påvirker strålingsenergi budsjettet i både stratosfæren, troposfæren/jordoverflaten og dermed klima. Mange tidligere utbrudd er synlige i iskjernerobservasjoner av sulfat. Det eksisterer hele tiden et potensial for utbrudd mye større enn utbruddet fra Mount Pinatubo i 1991.

1.6 Netto globalt strålingspådriv og globalt oppvarmingspotensial

Dette avsnittet gjelder kunnskapen om netto strålingspådriv siden den industrielle revolusjon. Rapporten gir følgende viktige konklusjoner:

Forståelsen for hvordan mennesker influerer oppvarming og avkjøling av jordas klima har økt siden den forrige hovedrapporten. Man vet med svært høy grad av pålitelighet at effekten av menneskelig aktivitet siden 1750 svarer til et nettopådriv på + 1,6 [+ 0,6 - + 2,4] W/m².

Dette er første gang IPCC beregner et samlet antropogent strålingspådriv med en fordeling av sannsynlighet for et samlet antropogent strålingspådriv, som vist i Figur 1. Den mest sannsynlige verdien er en hel størrelsesorden større enn det estimerte pådrivet fra endret irradians fra sola.

LLGHGene bidrar samlet med $2,63 \pm 0,26$ W/m². Dette er den dominerende komponenten med det høyeste nivået for vitenskapelig forståelse. Den store usikkerheten i nettopådrivet skyldes samlet effekt av det direkte pådrivet fra aerosoler, skyalbedo og bakkealbedo. Alle disse negative pådrivene er dårligere forstått og mer usikre enn pådriv fra LLGHGene. Sannsynlighetsfordelingen til netto strålingspådriv blir asymmetrisk som en følge av usikkerheten knyttet til effekten av skyalbedo (se figur 1 b).

For de størrelser og intervall for realistiske pådriv som er undersøkt, er det belegg for en omtrentlig lineær sammenheng mellom globalt midlede strålingspådriv og responsen i global midlet overflatetemperatur. De romlige mønstrene til strålingspådrivene varierer mellom de ulike pådrivkomponentene. Den romlige signaturen til klimaresponsen er generelt sett likevel ikke ventet å sammenfalle med pådrivenes mønstre.

Det romlige mønster for klimaresponsen er i stor grad kontrollert av klimaprosesser og tilbakekoplinger. For eksempel vil tilbakekoblinger knyttet til snø/isalbedo vanligvis gi sterkest respons ved høye breddegrader (*albedotilbakekopling*). Responsens romlige mønster påvirkes også av forskjellen i termisk treghet mellom sjø- og landområder.

Det romlige responsmønsteret til et strålingspådriv kan bli grunnleggende endret dersom mønsteret er gunstig for å påvirke spesielle aspekter ved den atmosfæriske struktur eller sirkulasjon.

Forskning indikerer at sirkulasjonsmønstre på midlere og høyere breddegrader sannsynligvis blir påvirket av visse pådriv, som for eksempel vulkanutbrudd. Slike pådriv blir for eksempel satt i sammenheng med endringer den *nordlige annulære mode* (NAM) og den *nordatlantiske oscillasjon* (NAO). Simuleringer viser også at absorpsjon i aerosoler kan redusere solstrålingen som når bakken, men også varme opp atmosfæren regionalt. Dermed påvirkes temperaturprofilene og atmosfærisk sirkulasjon på stor skala.

Den romlige fordelingen av strålingspådriv knyttet til ozon, direkte effekter fra aerosoler, vekselvirkninger mellom aerosoler og skyer (skyalbedo) og arealbruk er forbundet med betydelig usikkerhet. Dette står i kontrast til den relativt høye pålitelighet i det romlige mønsteret til strålingspådriv knyttet til LLGHGene.

Som en følge av lavere aerosolkonsentrasjoner på sørlige halvkule er netto positivt strålingspådriv på den sørlige halvkule etter all sannsynlighet høyere enn på den nordlige halvkule.

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Intergovernmental_Panel_on_Climate_Change

² http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10139

³ Royal Society 2010. Climate Change: a summary of the science. <http://royalsociety.org/climate-change-summary-of-science/>

⁴ <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-ts.pdf>

VIII.2. OBSERVASJONER AV KLIMAENDRINGER

IPCC evaluerer alle historiske klimaendringer, men legger mest vekt på siste 150 år da en har de fleste og de mest nøyaktige instrumentelle observasjonene. Vi har tidligere ikke skrevet mye om endringene de siste 150 år. Dette tar vi nå igjen ved å følge og kommentere IPCCs tekniske rapport. Her legges det ikke bare vekt på atmosfæren, men også havet og kryosfæren. Målet er å forstå trender, variasjon og prosesser både på global og regional skala. Det er viktig for IPCC å få fram konsistens mellom variasjonene i de ulike klimavariablene. Samlet gir dette et utfyllende bilde av oppvarmingen. Teksten støttes opp av Tab. 1, Fig. 1, 2 og 3, alle tatt fra IPCCs tekniske rapport.

Tab. 1: (Tabell TS-4). Vurderinger av menneskers innflytelse på trender og projeksjoner av ekstreme vær- og klimahendelser for tilfeller hvor en trend har blitt observert mot slutten av 1900-tallet. Asterisk i kolonne "D" tilsier at formelle studier av deteksjon og årsakssammenhenger ble brukt, sammen med eksperters vurderinger, for å vurdere sannsynligheten for en merkbar menneskelig innflytelse. I de tilfellene hvor slike studier ikke var tilgjengelig, ble vurderinger av sannsynlighet for menneskelig innflytelse basert på resultater som tar for seg endringer av gjennomsnittet til en variabel eller en fysisk beslektet variabel, eller en kvalitativ likhet mellom observerte og simulerte endringer, kombinert med eksperters vurdering.

Phenomenon ^a and direction of trend	Likelihood that trend occurred in late 20th century (typically post-1960)	Likelihood of a human contribution to observed trend	D	Likelihood of future trend based on projections for 21st century using SRES ^b scenarios
Warmer and fewer cold days and nights over most land areas	<i>Very likely^c</i>	<i>Likely^e</i>	*	<i>Virtually certain^e</i>
Warmer and more frequent hot days and nights over most land areas	<i>Very likely^d</i>	<i>Likely (nights)^e</i>	*	<i>Virtually certain^e</i>
Warm spells / heat waves: Frequency increases over most land areas	<i>Likely</i>	<i>More likely than not</i>		<i>Very likely</i>
Heavy precipitation events. Frequency (or proportion of total rainfall from heavy falls) increases over most areas	<i>Likely</i>	<i>More likely than not</i>		<i>Very likely</i>
Area affected by droughts increases	<i>Likely in many regions since 1970s</i>	<i>More likely than not</i>	*	<i>Likely</i>
Intense tropical cyclone activity increases	<i>Likely in some regions since 1970</i>	<i>More likely than not</i>		<i>Likely</i>
Increased incidence of extreme high sea level (excludes tsunamis) ^f	<i>Likely</i>	<i>More likely than not^g</i>		<i>Likely^h</i>

Notes:

^a See Table 3.7 for further details regarding definitions.

^b SRES refers to the IPCC Special Report on Emission Scenarios. The SRES scenario families and illustrative cases are summarised in a box at the end of the Summary for Policymakers.

^c Decreased frequency of cold days and nights (coldest 10%)

^d Increased frequency of hot days and nights (hottest 10%)

^e Warming of the most extreme days/nights each year

^f Extreme high sea level depends on average sea level and on regional weather systems. It is defined here as the highest 1% of hourly values of observed sea level at a station for a given reference period.

^g Changes in observed extreme high sea level closely follow the changes in average sea level {5.5.2.6}. It is *very likely* that anthropogenic activity contributed to a rise in average sea level. {9.5.2}

^h In all scenarios, the projected global average sea level at 2100 is higher than in the reference period {10.6}. The effect of changes in regional weather systems on sea level extremes has not been assessed.

2.1 Endringer i atmosfæren

Her vurderes gjennomsnittlige forhold på global skala, for hver halvkule, endringer over land og hav hver for seg og fordelingen av trender i forhold til breddegrad, lengdegrad og høyde over havet. *Ekstremvær* er også med, slik som endringer i hetebølger, tørkeperioder, ekstrem nedbør og *tropiske sykloner*. Når det gjelder regionale endringer, knyttes disse ofte til sesongbetonte og langvarige anomalier som kan beskrives ved hjelp av kjente mønstre for klimavariasjon, slik som ENSO og NAO. Som vi har sett, er regionale klimasignaturer som *stormbaner* og *monsuner* knyttet til slike mønstre (*moder for klimavariasjon*).

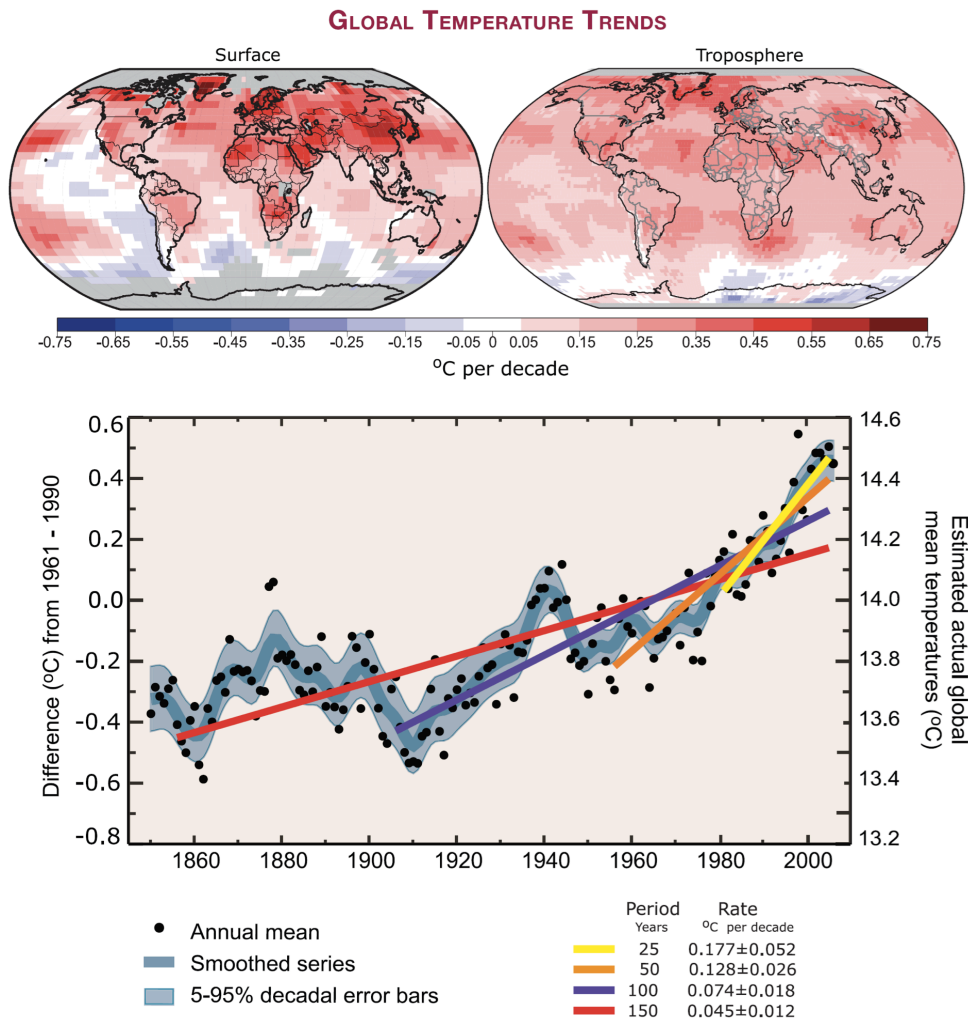


Fig. 1: (Figure TS.6). (Topp) Mønster for lineære globale trender for perioden 1979 til 2005 estimert for overflaten (til venstre) og for troposfæren fra satellittmålinger (til høyre). Grått indikerer områder med lite data. (Bunn) Årlig global temperatur (svarte prikker) med lineær tilpassning til dataene. Aksen til venstre viser temperaturanomaliene i forhold til perioden 1961 til 1990 og aksen til høyre aktuell temperatur, begge i °C. Lineære trender er vist for siste 25 år (gul), 50 år (oransje), 100 år (purpur) og 150 år (rød). Den glatte blå kurva viser dekadavariasjoner med et 90 % feilintervall som et blekt blått bånd omkring denne linja. Den totale temperaturøkningen for perioden 1850 til 1899 til perioden 2001 til 2005 er $0,76 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,19 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

OBSERVED AIR TEMPERATURES

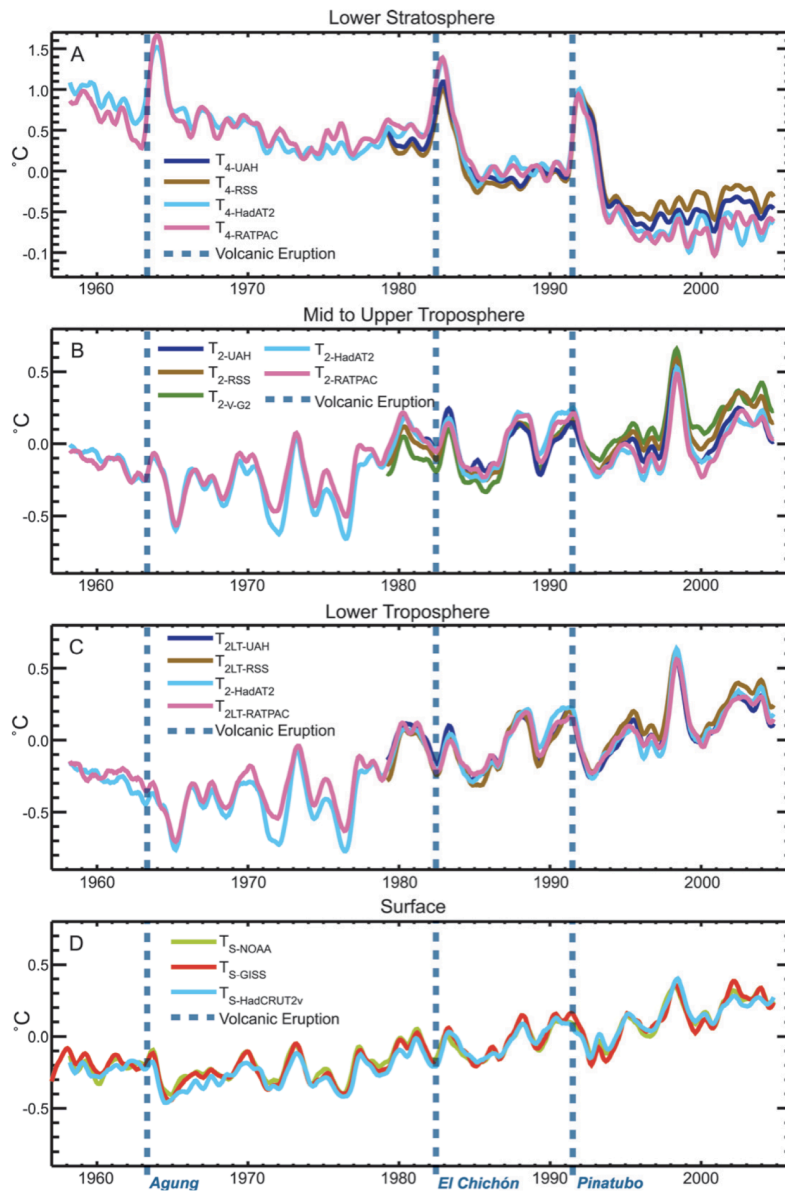


Fig. 2: (Figure TS.7). Observerte temperatur-anomalier (°C) ved overflaten (D), i nedre del av troposfæren (C), fra midten til øvre troposfære (B) og lavere stratosfære (A) vist som månedsverdier i forhold til perioden 1979-1997 og utjevnet med et filter over sju måneder. Vertikale strekede linjer viser tiden for store vulkanutbrudd.

Globalt midlet temperatur

Den globale gjennomsnittstemperaturen ved bakken har økt, særlig siden rundt 1950.

Den oppdaterte 100-årstrenden (1906–2005) er på $0,74 \pm 0,18$ °C. Oppvarmingsraten de siste 50 år ($0,13 \pm 0,03$ °C per tiår) er nesten dobbelt så stor som raten for siste 100 år. Det er tre sentra i verden som publiserer slik klimastatistikk. Trendene i de tre datasettene er konsistent. Det er også konsistens mellom disse datasettene om en ser på land- og havområder hver for seg.

2005 og 1998 var de to varmeste årene i perioden med instrumentelle målinger som gir global overflatetemperatur siden 1850.

Bakketemperaturen i 1998 ble forsterket på grunn av en svært sterk El Niño i 1997–1998, mens i 2005 var det ingen slik anomali. Elleve av de siste 12 år (1995–2006) er blant de 12 varmeste årene siden 1850. Unntaket er 1996.

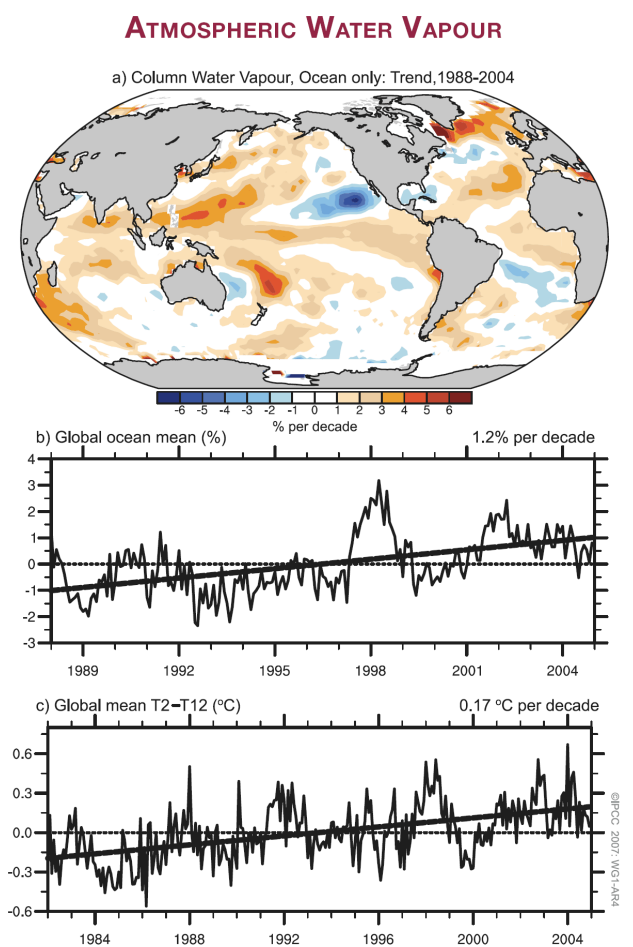


Fig 3: (Figure TS.8). (a) Lineære trender i totalnedbør, tilstede i kolonner gjennom troposfæren, over perioden 1988 til 2004 (% per dekad). (b) Månedlig verdier for anomalier i samme størrelse, i forhold til den viste perioden, som et snitt over verdenshavene. Lineær trend er også vist. (c) Globalt gjennomsnitt (80°N til 80°S) for strålingssignaturen av økningen i fuktigheten i øvre troposfære, uttrykt som en månedlig tidsserie for anomalier i strålingstemperatur fra satellitter (brightness temperature) (°C), i forhold til perioden 1982 til 2004. Lineær trend er også vist.

Mange mener at IPCC ikke tar tilstrekkelig hensyn til hvordan urbanisering påvirker temperaturestimatene. Dette tar IPCC alvorlig og konkluderer:

Nye studier bekrefter at effektene av urbanisering og bruk av landområder på de globale temperaturmålingene er ubetydelige (siden 1950) når det gjelder gjennomsnitt på halvkule- og kontinentsskala.

Vi vet at temperaturen over byer er varmere enn over landområder omkring (*urbane varmeøyer*). Vi vet også at temperaturen øker i byer som vokser fort (urbanisering). Men det er korrigert for slike lokale effekter i urbane områder. Effekter av urbanisering og bruk av landområder er ikke relevante i forbindelse med observert storstilt oppvarming av havet. Dette hindrer ikke at det fremdeles fins systematiske feil i observasjonene. Slik er det etter rapporten funnet at en systematisk endring i sjøtemperaturen fant sted i 1945 på grunn av endring i målemetode og antall observasjoner¹.

I tredje hovedrapport var det en indre motsetning mellom trender i temperatur ved jordoverflaten og i troposfæren. En slik motsetning passer ikke med det en teoretisk forventer, og dette var lenge et relevant argument mot antropogen global oppvarming. Det

viste seg imidlertid at mye av forskjellen hadde årsak i kalibreringsfeil i satellittdata. IPCC har vurdert ny forskning og konkluderer med følgende:

Nye analyser av radiosondedata og satellittmålinger av temperaturen i den midlere og lavere troposfære viser at ratene for oppvarming er konsistente med hverandre og med målinger av bakketemperatur innenfor deres respektive usikkerhetsmarginer for periodene 1958–2005 og 1979–2005. Dette fjerner grunnlaget for en indre motsetning skrevet om i den tredje hovedrapporten.

Det er et problem at radiosondemålinger kan være upålitelige, særlig i tropene. Trendene for temperaturen i troposfæren basert på mikrobølgesignaler fra satellitter (*mikrorbølgesonderingsenhet*; microwave sounder unit – MSU og avansert MSU, AMSU) er fremdeles motstridende, og de inneholder sannsynligvis ennå systematiske feil. Det ser ut til at satellittmålingene for temperaturen i troposfæren stort sett er konsistent med trendene i bakketemperatur. Variasjonsbredden på tvers av ulike datasett for global oppvarming ved bakken siden 1979 er 0,16 til 0,18 °C per tiår, sammenlignet med 0,12 til 0,19 °C for temperaturen i troposfæren utledet av MSU-data.

Vi har pekt på at en global oppvarming ved overflaten og i troposfæren følges av en avkjøring i stratosfæren. IPCC skriver:

Temperaturestimer for stratosfæren fra justerte radiosonder, satellitter og reanalyser samstemmer kvalitativt sett med en nedkjøling på mellom 0,3 og 0,6 °C per tiår fra 1979.

IPCC finner det *sannsynlig* at radiosondedataene overestimerer den stratosfæriske avkjølingen.

Romlig fordeling av endringer i temperatur, sirkulasjon og relaterte variabler

En forventer større oppvarming over land enn over hav og IPCC skriver:

På begge halvkluler har bakketemperaturen over landområder økt raskere enn temperaturen over hav. Lengre dataserier som nå er blitt tilgjengelige, viser signifikant raskere oppvarming over land enn over hav de to siste tiårene (rundt 0,27 mot 0,13 °C per tiår). Oppvarmingen siste 30 år er utstrakt over hele kloden, og størst på høye breddegrader på den nordlige halvklule.

Den største oppvarmingen har funnet sted om vinteren (desember til februar) og våren (mars til mai) på den nordlige halvklule. Siste hundre år har gjennomsnittstemperaturen i Arktis økt nesten dobbelt så raskt som i resten av verden. Det viser seg at temperaturen i Arktis har større dekadeflasjoner enn på lavere bredder. Vi har nevnt at det fra 1925 til 1945 ble observert en varm periode i Arktis, nesten like varm som de siste tiårene. Men denne episoden var ikke global på samme måte som den siste oppvarmingen.

For atmosfærisk sirkulasjon sier IPCC:

Det finnes belegg for langsiktige endringer i den storstilte atmosfæriske sirkulasjonen, slik som at vestavindsbeltet har forflyttet seg mot polene og blitt sterkere.

Regionale klimatrender kan være forskjellige fra det globale gjennomsnittet. Dette reflekteres i sirkulasjonsendringer som ofte er knyttet til vekselvirkning mellom atmosfære og hav. Det var et sterkere vestavindsbelte på begge halvkuler i de fleste årstider fra 1979 til sent 1990-tall, men siden har det falt tilbake til det langsiktige gjennomsnittet. Sirkulasjonsendringene er en viktig faktor i de observerte endringene i stormbaner om vinteren og relaterte mønstre for nedbørs- og temperaturrender på midlere og høye breddegrader. I samme periode har styrken på *utenomtropiske sykloner* blitt sterkere. Analyser av vind og *signifikant bølgehøyde*² samsvarer med dette. Endringene følges av en tendens mot sterkere *polare virvler* i hele troposfæren og lavere stratosfære om vinteren.

Mange regionale klimaendringer kan beskrives ved hjelp av foretrukne klimamønstre og dermed som endringer i indekser for disse.

Svingninger i vestavindsbeltet og stormbanene i Nord-Atlanteren har, som vi har forklart, blitt beskrevet ved hjelp av NAO, AO eller sirkelformede (annulære) moder NAM (SAM på sørlige halvkule). Den økte styrken i vestavindene på midlere breddegrader i Nord-Atlanteren kan i stor grad beskrives ved endringer i enten NAO eller NAM. I tillegg er også variasjon over flere dekadere i både atmosfæren og havet synlig i Nord-Atlanteren. Endringer i sirkulasjonen i den sørlige hemisfære, som er knyttet til en økning i SAM fra 1960 til nå, henger sammen med oppvarming over Den antarktiske halvøy, og i noe mindre grad avkjøling over kontinentale deler av Antarktis.

Endringer i temperaturekstremere er konsistente med oppvarming.

Observasjoner viser omfattende reduksjoner i antall frostdager på midlere breddegrader, en økning i antall varmeekestremere (varmeste 10 % av dager eller netter) og en reduksjon i antallet daglige kuldeekstremere (kaldeste 10 % av dager eller netter). De mest markerte endringene er for kalde netter, som har minket i perioden mellom 1951 til 2003 i alle regioner hvor data har vært tilgjengelig (76 % av landområdene).

Hetebølgenes varighet har økt siden siste halvdel av det 20. århundret.

Hetebølgen over Vest- og Sentral-Europa i 2003 slo mange rekorder og var et eksempel på en eksepsjonell ekstremhendelse. Den sommeren (juni-august) var den varmeste siden målinger begynte rundt 1780. Opptørking av landoverflaten i Europa om våren var en viktig faktor for de ekstreme temperaturene i 2003. Det finnes belegg som indikerer at hetebølger har økt i frekvens og varighet også andre steder. Den sterke korrelasjonen mellom observert *tørke* og høye temperaturer over land i tropene om sommeren, fremhever den viktige rollen fuktigheten spiller.

Det er vanskelig å påvise endringer i ekstremvær knyttet til sirkulasjon på liten skala:

Det finnes ikke tilstrekkelig bevis for å kunne avgjøre hvorvidt det eksisterer trender for hendelser som tornadoer, hagl, lyn og sandstormer, fenomener som alle opptrer på små romlige skalaer.

Endringer i vannets kretsløp: vanndamp, skyer, nedbør og tropiske stormer

Det er svært viktig å overvåke endringer i fuktigheten, ikke minst fordi den representerer den viktigste tilbakekoplingen. Etter teoretiske betraktninger forventes en økning, og IPCC skriver:

Mengden av vanndamp i troposfæren øker.

Spesifikk fuktighet ved bakken har generelt sett økt siden 1976. Den totale vanndampen gjennom troposfæren har økt over de globale havområdene med $1,2 \pm 0,3$ % per tiår (95 % konfidensintervall) for perioden 1988 til 2004. De observerte regionale endringene er konsistente med endringer i *sjøtemperatur i overflaten* (SST) og antakelsen om en endring av *blandingsforholdet* som tilsvarer nesten konstant *relativ fuktighet*. Den økte mengden vanndamp betyr selvsagt økt tilgang på fuktighet for nedbør.

Vanndampen øker også i den øvre troposfære.

På grunn av begrensninger ved instrumentene er det spesielt vanskelig å vurdere langsiktige endringer i vanndamp i den øvre troposfære, der hvor den er mest viktig for strålingen. Tilgjengelige data viser imidlertid nå bevis for global økning i spesifikk fuktighet i den øvre troposfæren over de to siste tiårene. Observasjonene er konsistente med observert økning i temperatur.

Skyendringer er dominert av ENSO.

Temperaturforskjellen mellom dag og natt over kontinentene har gått ned. Dette har inntruffet sammen med økte skymengder. Observasjoner fra satellitter samstemmer ikke med observasjoner fra overflaten av endringer i det totale og det lave skydekket over hav. Strålingsendringer på toppen av atmosfæren fra 1980-tallet til 1990-tallet ser imidlertid ut til å være knyttet til reduksjon i det øvre skylaget i tropene.

Om *global dimming* skriver IPCC:

Global dimming har ikke global utstrekning og har ikke fortsatt etter 1990.

IPCC skriver som vi tidligere har gjort, at rapportert reduksjon i solstråling ved jordoverflaten fra 1970 til 1990 har størst utslag i urbane områder. Etter 1990 er reduksjon snudd til en økning. I noen områder, som i Øst-Europa, knyttes denne reversering av fortegnet til samtidige forbedringer av luftkvaliteten.

Det er blitt observert langsiktige endringer i nedbørmengdene fra 1900 til 2005 i mange store regioner.

Det er blitt observert signifikant økende nedbørmengder i de østlige delene av Nord- og Sør-Amerika, Nord-Europa og det nordlige og sentrale Asia. Mer tørke er observert i Sahel, Middelhavsområdet, det sørlige Afrika og deler av Sør-Asia. Nedbør varierer mye både i rom og tid, og det er ofte vanskelig å etablere robuste langsiktige trender.

Det er blitt observert betydelig økning i hendelser med kraftig nedbør.

IPCC mener det er *sannsynlig* at det har vært en økning siden rundt 1950 i antall hendelser med kraftig nedbør over mange landområder.

Det forskes mye på om *tropiske sykloner* vil endre seg under global oppvarming:

Det finnes observasjonsbaserte bevis for en økning av aktiviteten av intense tropiske sykloner i Nord-Atlanteren siden rundt 1970. Dette korrelerer med økningen i tropisk SST. En ser også antydning til større forekomst av intense tropiske sykloner i andre regioner, hvor bekymring over kvaliteten på datagrunnlaget er større.

Kvaliteten på datagrunnlaget for tropiske sykloner er ikke god før de rutinemessige satellittobservasjonene startet rundt 1970. Vi vet heller ikke nok om naturlige variasjoner over dekadene. Det er ingen klar trend i det årlige antallet tropiske sykloner. Estimater av ødeleggelsespotensialet for tropiske sykloner antyder en betydelig oppadgående trend siden midten av 1970-tallet. Det er også en trend mot lengre levetid på syklonene og større intensitet. Trender i SST er tydelige i alle syklonområder. Som vi har sett er SST en kritisk variabel for utvikling av tropiske sykloner. Variasjoner i det totale antallet tropiske sykloner er blant annet et resultat av ENSO.

Tørke synes å bli et økende problem mange steder på kloden.

Mer intense og lengre tørkeperioder er blitt observert over større områder, særlig i tropiske og subtropiske strøk siden 1970-tallet.

Økt uttørking på grunn av høyere temperaturer og minkende nedbør over land har bidratt til disse endringene.

2.2 Forandringer i kryosfæren

Kryosfæren lagrer 75 % av jordas ferskvann. Is dekker i dag 10 % av jordas landoverflate, og *innlandsis* i Antarktis og på Grønland utgjør det aller meste av dette. I tillegg dekker *sjøis* omtrent 7 % av verdenshavene som et årlig gjennomsnitt. Midt på vinteren dekkes omtrent 49 % av landoverflaten med snø på den nordlige halvkule. Vi har sett hvordan is og snø er viktige tilbakekoblingsmekanismer ved endringer i klimaet. Høy albedo over is og snø gjør at så mye som 90 % av den innkommende solstrålingen blir reflektert. Til sammenligning reflekteres bare 10 % av solen fra åpent hav og skogkledde landområder. Snø og is er også effektive som isolasjon. Frost i bakken dekker større områder enn snø, og er viktig for vertikale flukser av energi og fuktighet ved overflaten.

Fordi overgang fra is til væske skjer ved bestemte temperaturer, er is en komponent av klimasystemet som kan være utsatt for raske endringer som en følge av en tilstrekkelig oppvarming. Volumet til isbreer over fjell har minnet, snødekket har minnet, *permafrosten* har endret seg og sjøisens utbredelse i Arktis er blitt mindre. Smelting av Grønlandsisen har økt langs kysten mer enn de økte nedbørsmengdene i innlandet. Arealet av vinterfrost og is på ferskvann og elver er også redusert. IPCC fokuserer på periodene 1961-2007 og

1993-2007 fordi det i disse periodene finnes direkte observasjoner av henholdsvis *massebalansen* i breer og målinger av høyden på innlandsis fra satellitter.

Snødekket er blitt mindre i de fleste regioner, spesielt om våren.

På den nordlige halvkule viser satellittmålinger av snødekket i perioden 1966-2005 en reduksjon i alle måneder bortsett fra november og desember, med en brå reduksjon på 5 % sent på 1980-tallet. På den sørlige halvkule viser de få tilgjengelige lange måleseriene enten en reduksjon eller ingen endring de 40 siste år.

Reduksjon i snødekket er blitt dokumentert i flere områder. Studiene er basert på årlige tidsserier av snødybde og vannekvivalenter av snø over fjell.

Snødekket over fjell kan være sensitivt for små endringer i temperatur, spesielt i tempererte klimasoner der overgangen fra regn til snø er sterkt knyttet til høyden over havet. Minkingen i snødekket er slik gjerne størst i lavere og varmere områder. Vanninnholdet i snø har minket på 75 % av målestasjonene i det vestlige Nord-Amerika siden 1950.

Permafrost og vinterfrost i bakken viser store endringer de siste tiårene.

Forandringer i permafrosten kan påvirke vannmengden i elver, karbonutvekslingen og tilføre skader på infrastruktur. Siden 1980 er det blitt rapportert temperaturøkning i det øverste laget av permafrosten, opp til 3 °C. Oppvarming av permafrosten er blitt observert i Canada, Sibir, Tibet og Europa med varierende styrke.

Det maksimale området dekket av frost om vinteren minket med 7 % på den nordlige halvkule i den siste halvdel av det 20. århundret, med en minking om våren på opp til 15 %.

Den maksimale dybden med tele har minket med 0,3 meter i Eurasia siden midten av det 20. århundret. I tillegg har den maksimale dybden for sesongmessig tining økt med omtrent 0,2 meter i russisk Arktis fra 1956 til 1990.

Over de siste 150 år har isen på elver og ferskvann på den nordlige halvkule i gjennomsnitt begynt å fryse senere, med 5,8 døgn \pm 1,9 døgn per århundre, mens oppgangen av isen har begynt 6,5 døgn \pm 1,9 døgn tidligere.

Arealet til sjøisen i Arktis har minket i gjennomsnitt med 2,7 % \pm 0,7 % per tiår siden 1978 basert på satellittmålinger.

Reduksjonen er større om sommeren enn om vinteren, med en reduksjon i sommerisdekket på 7,4 % \pm 2,9 % per tiår. Andre data indikerer at reduksjonen i sjøisdekket begynte rundt 1970. Tilsvarende målinger fra Antarktis avdekker større variasjoner fra år til år, men ingen konsistente endringer i den perioden vi har hatt satellittmålinger.

Gjennom det 20. århundret har isbreer og innlandsis minnet mange steder og bidratt til stigning av havnivået (havnivåendring).

Endring i massen av breer (utenom Grønland og Antarktis) er beregnet å tilsvare en endring på $0,50 \pm 0,18$ mm per år i havnivået (*ekvivalent havnivå*; SLE sea level equivalent) per år mellom 1961 og 2003, og $0,77 \pm 0,22$ mm per år mellom 1991 og 2003. Endringen i breene er *sannsynligvis* en respons av oppvarmingen etter 1970.

Nyere observasjoner viser i noen områder raske endringer i breenes bevegelse, noe som bidrar til stigning av havnivået og indikerer at dynamikken for breenes bevegelse kan bli en nøkkel til fremtidig respons i *isbremmer*³, kystnære breer og innlandsis ved klimaforandringer.

Tynning og tap av isbremmer på Grønland, Den antarktiske halvøy og i Vest-Antarktis er blitt knyttet til akselerert bevegelse i breene og brearmer mot havet. Høyere temperatur i både havet og atmosfæren ser ut til å bidra til endringene. Stor oppvarming om sommeren på Den antarktiske halvøy spilte *svært sannsynlig* en rolle i oppsprekningen av isbremmen Larsen B i 2002. Modeller for isens dynamikk ser ikke ut til å fange opp alle de fysiske prosessene involvert i observert kalving av is fra isbremmer.

Det er svært sannsynlig at innlandsisen på Grønland og i Antarktis har bidratt til stigningen i havnivået det siste tiåret. Det er også svært sannsynlig at Grønlandsisen krympet i perioden 1993-2003. Slik er en økning i tykkelsen av innlandsisen blitt mer enn kompensert ved økt smelting langs kysten. Det er ikke mulig å avgjøre fra observasjoner om isdekket har økt eller minnet over tidsskalaer utover det siste tiåret.

Mangel på overensstemmelse mellom forskjellige analysemetoder hindrer gode statistiske beregninger av feilestimat for forandringer i isens massebalanse. Det er likevel blitt observert en akselerasjon i utløpsbreenes bevegelse i begge innlandsisene, en akselerasjon som drenerer is fra det indre av isene. IPCC finner en massebalanse for innlandsisen over Grønland på mellom - 50 og - 100 Gigatonn (Gt) per år mellom 1993 og 2003 (en minning som økte globalt havnivå fra 0,14 til 0,28 mm per år), med et enda større tap i 2005. Endringer for tidligere perioder og Antarktis er mer usikre. Beregnet variasjon i massebalansen på Grønland mellom 1961 og 2003 ligger mellom en økning på 25, og en reduksjon på 60 Gt per år (endring i havnivå fra -0,07 til 0,17 mm per år). En gjennomgang av alle data fra Antarktis viser en massebalanse fra en økning på 100 Gt/år til en minning på 200 Gt/år (fra -0,28 til +0,55 mm/år i endring av havnivået) fra 1961 til 2003, og fra + 50 til - 200 Gt/år (fra -0,14 til +0,55 mm/år) fra 1993 til 2003.

2.3 Forandringer i havet

Havet påvirkes ved utveksling av masse-, energi- og bevegelsesmengde med atmosfæren. Havets varmekapasitet er mer enn 1000 ganger større enn atmosfærens. Derfor er netto varmeopptak mange ganger større. Observasjoner kloden over av varmen som er tatt opp av havet er viktig for å bekrefte forandringer i det globale energibudsjettet. Endringer i varmeopptaket i de øverste lagene i havet spiller også en viktig rolle for klimavariasjoner på sesong til mellomårlig tidsskala, ikke minst gjennom fenomen som ENSO. Forandringer i

transport av varme og overflatetemperatur har viktige effekter på det regionale klima mange steder i verden. Livet i havet er avhengig av den biokjemiske tilstanden som igjen er påvirket av forandringer i den fysiske tilstanden og sirkulasjonen. Forandringer i havets biokjemi kan også tilbakekobles til klimasystemet, som for eksempel gjennom forandringer i opptak eller utslipp av drivhusgasser som CO₂.

Variasjoner i globalt gjennomsnittlig havnivå er delvis drevet av forandringer i tetthet gjennom termisk utvidelse (*termal ekspansjon*) eller sammentrekning av havets volum. Også lokale endringer i havnivået har en tetthetsrelatert komponent som skyldes endringer i temperatur og salt. I tillegg kan utveksling av vann mellom havet og andre *reservoarer* (som for eksempel innlandsis, isbreer, landreservoarer og atmosfæren) forandre havets masse og derfor bidra til forandringer i havnivået. Endring i havnivået er ikke uniform geografisk sett fordi prosesser, som endringer i havsirkulasjonen, ikke er de samme rundt om på jorda.

Variable for havet kan være nyttige for å avdekke endringer i klimaet, spesielt endringer i temperatur og salt under *havets blandingslag*, der variasjonen er mindre og forholdet mellom signal og støy høyere.

Forandringer i varmeinnhold og sirkulasjon i havet

Verdenshavene er blitt varmere siden 1955 og står for 90 % av endringene i varmeinnholdet i jordas klimasystem i denne perioden.

Havets globale varmeinnhold har blitt analysert av flere forskere uavhengig av hverandre, og estimatene er robuste i forhold til metoden som er brukt.

Observert dekadisk variasjon i det globale varmeinnholdet er ikke fullt ut forstått. Utilstrekkelige data kan bidra til tilsynelatende variasjoner i varmeinnholdet. I løpet av perioden 1961-2003 har de øverste 3000 meter av havet tatt opp omtrent $14,1 \times 10^{22}$ Joule, noe som tilsvarer en gjennomsnittlig oppvarming på $0,2 \text{ W/m}^2$ (per enhetsareal av jordas overflate). I løpet av 1993-2003 var den tilsvarende oppvarmingen i de øverste 700 meter høyere, omtrent $0,5 \pm 0,18 \text{ W/m}^2$. I forhold til 1961-2003 hadde perioden 1993-2003 en høyere oppvarming.

Oppvarmingen er utstrakt i de øverste 700 meter av havet.

Atlanterhavet er blitt varmere sør for 45 °N. Oppvarmingen når dypere i Atlanterhavet enn i Stillehavet, Det indiske hav og Sørishavet på grunn av *meridional omveltningssirkulasjon*. Den sørlige halvkules meridionale omveltning viser lite tegn til forandring. De øverste lagene i Sørishavet bidrar imidlertid sterkt til den globale oppvarmingen. Minst to hav på subtropiske breddegrader (Middelhavet, Japan- og Øst-Kinahavet) varmes også opp. Mens den globale trenden tyder på oppvarming, er det observert signifikante dekadewariasjoner i de globale tidsseriene, og havet avkjøles over store områder. Deler av det nordlige Atlanterhavet, det nordlige og sentrale Stillehavet er blitt kaldere siste 50 år.

Deler av den atlantiske meridionale omveltningen viser betydelig dekadisk variasjon, men ingen data støtter en sammenhengende trend i omveltningssirkulasjonen.

Forandringer i biokjemi og saltholdighet i havet

Havets forsurening bekymrer mange. IPCC finner:

Opptaket av menneskeskapt karbon siden 1750 har ført til at havet er blitt surere, med en gjennomsnittlig reduksjon i *pH* i overflaten med 0,14 enheter.

Havets opptak av karbondioksid forandrer den kjemiske likevekten. Oppløst CO₂ gir en svak syre, slik at når mengden av oppløst CO₂ øker, så reduseres *pH*, det vil si at havet blir surere. Direkte observasjoner av *pH* siste 20 år viser også reduserte trender i *pH* på omtrent 0.02 *pH*-enheter per tiår. Minkende *pH* i overflaten og økende overflatetemperaturer bidrar til å redusere havets bufferkapasitet for CO₂ og dets evne til å ta opp overflødig CO₂.

På høye breddegrader på begge halvkuler er overflatevannet blitt ferskere, konsistent med økende nedbør, ismelting og *avrenning* fra elver i samme områder. De subtropiske breddegrader på begge halvkuler er karakterisert ved økt saltholdighet i de øverste 500 meter. Mønstrene er konsistente med forandringen i jordas hydrologiske kretsløp, spesielt med tanke på forandringer i nedbør og antydninger til større vanntransport i atmosfæren fra lave til høye breddegrader, og fra Atlanterhavet til Stillehavet.

Forandringer i havnivået

Over perioden 1961-2003 er den gjennomsnittlige økningen i det midlere globale havnivået fra tidevannsmålinger estimert til å være $1,8 \pm 0,5$ mm per år.

Det gjennomsnittlige bidraget fra termisk utvidelse av havet for denne perioden er $0,42 \pm 0,12$ mm per år, med signifikante dekadiske variasjoner. Bidraget fra isbreer og innlandsis er beregnet til $0,7 \pm 0,5$ mm per år. Slik blir summen av disse estimerte klimarelaterte bidragene gjennom de siste 50 år $1,1 \pm 0,5$ mm per år, betydelig mindre den totale økningen. Budsjettet for 1961-2003 er derfor ikke tilfredsstillende lukket.

På grunnlag av studier av tidevannsmålinger og geologiske data er det høy pålitelighet til at økningen i havnivået akselererte mellom midten av det 19. og midten av det 20. århundret.

En fersk rekonstruksjon av endring i havnivået fra 1870 gir høy pålitelighet til at økningen i havnivå akselererte i perioden 1870-2000. Geologiske observasjoner indikerer at endringer i havnivået var små de siste 2000 årene, med en midlere endring i området 0,0 - 0,2 mm per år. Bruk av *proksidata* for havnivå indikerer at svingninger i havnivået i perioden fra Kristi fødsel til år 1900 ikke oversteg $\pm 0,25$ meter. Tilgjengelige data indikerer også at den moderne økningen i havnivå startet mellom midten av det 19. og midten av det 20. århundret.

Fra 1993 har vi satellittdata som overvåker nivået på havet over det meste av kloden.

Den globalt midlede økningen i havnivået målt med Topex/Poseidon *altimetri* fra Topex/poseidon satellitter i perioden 1993-2003 er $3,1 \pm 0,7$ mm per år.

Det klimarelaterte bidraget fra termisk utvidelse er beregnet til $1,6 \pm 0,5$ mm per år, og bidraget fra endringene i is over land er $1,2 \pm 0,4$ mm per år. Dette gir et klimabidrag til sammen på 2,8 mm i middel per år. Slik har forståelsen av budsjettet økt signifikant for den siste perioden, med klimafaktorene som hovedfaktorene i havnivåbudsjettet. Om den hurtigere raten for 1993-2003 sammenlignet med 1961-2003 reflekterer dekadisk variasjon eller en økende trend på lengre tidsskala er ennå uklart.

Presise satellittmålinger siden 1993 gir nå utvetydig bevis på regional variasjon i endring i havnivå. I noen regioner er ratene i denne perioden opp til mange ganger større enn den midlere globale økningen, mens i andre regioner er havnivået fallende.

Den største økningen i havnivået siden 1993 har funnet sted i det vestre Stillehavet og i det østre del av Det indiske hav. Nesten alle deler av Atlanterhavet viser økning i havnivå det siste tiåret, mens havnivået i det østre Stillehavet og det vestre del av Det indiske hav har falt. Disse variasjonene i rom og tid på regional skala er delvis påvirket av mønstre knyttet til koplet variasjon mellom hav og atmosfære, inkludert ENSO og NAO. Mønsteret i observert havnivåøkning siden 1992 er likt den termiske utvidelsen beregnet fra endringer i havtemperatur, men forskjellig fra mønsteret av den termiske utvidelsen de siste 50 år. Dette indikerer betydningen av regional dekadisk variasjon.

2.4 Konsistens mellom observasjoner

I denne delen blir konsistensen til variasjon og trender innen og på tvers av ulike klimavariabler i atmosfæren, kryosfæren og verdenshavene undersøkt på grunnlag av en konseptuell forståelse for den fysiske sammenhengen mellom ulike variable. For eksempel vil en temperaturøkning føre til at atmosfæren kan holde på mer fuktighet. Endringer i temperatur og nedbør bør følgelig være konsistent med endringer i isbreer. Konsistens mellom uavhengige observasjoner ved hjelp av ulike metoder gir en viktig test på forståelsen. Dermed øker påliteligheten.

Endringer i atmosfæren, kryosfæren og havet viser utvetydig at verden varmes opp.

Temperaturen både ved bakken over land og i havoverflaten viser oppvarming. På begge halvkuler har landområder vist en raskere oppvarming enn hav de siste tiårene. Dette er konsistent med at havet har mye større varmekapasitet.

Varmere klima er konsistent med en økning i antall daglige varmeekestremer, en nedgang i antall kuldeekstremer og en nedgang i antall frostdager på midlere breddegrader.

Trender i lufttemperaturen ved bakken er nå konsistent med trendene høyere oppe i atmosfæren.

Det er trolig en litt større oppvarming i troposfæren enn ved bakken.

Temperaturendringer er jevnt over konsistent med den observerte, nærmest globale reduksjonen av kryosfæren.

Massen og utbredelsen av is over land er blitt omfattende redusert. Klimaendringer som er konsistente med oppvarming, har også blitt indikert ved en nedgang i snødekke, snødybde, utbredelse av sjøis i Arktis, tykkelse og temperatur i permafrosten, utbredelsen av landområder som tidvis er frosset, samt varigheten av frysesevningen til elver og innsjøer.

Observasjoner av økningen av havnivået siden 1993 er konsistent med observerte endringer i havets varmeinnhold og endringer i kryosfæren.

Havnivået steg med $3,1 \pm 0,7$ mm/år fra 1993-2003. Globale havnivåmålinger er kun tilgjengelige for denne perioden. I løpet av denne tiden ble det observert en tilnærmet balanse mellom observerte havnivåøkninger og bidrag fra tilbaketrekking av isbreer og isutbredelse generelt, en økning i havets varmeinnhold og tilhørende ekspansjon av havet. Denne balansen øker påliteligheten til at den observerte økningen av havnivået er en sterk indikator på oppvarming.

Observasjoner er konsistent med fysisk forståelse for forventet kobling mellom vanndamp og temperatur og til intensivering av nedbørsepisoder i en varmere verden.

Mengden vanndamp i den vertikale vannkolonnen og i den øvre troposfæren har økt. Dette gir støtte til en hypotese basert på enkle fysiske modeller, nemlig at den spesifikke fuktigheten øker i en verden i oppvarming, og at dette representerer en positiv tilbakekobling på klimaendringer.

Samtidig som det er observert økende mengde vanndamp i atmosfæren, er det observert en bred økning i antall episoder med kraftig nedbør og en økt sannsynlighet for flom i mange områder, selv på steder hvor den totale nedbørmengden har gått ned. Observerte endringer i havets saltinnhold gir uavhengig støtte til at jordas hydrologiske kretsløp har endret seg. Dette er konsistent med målinger som viser økt nedbør og avrenning fra elver utenom tropiske og subtropiske strøk, samt en forsterket overføring av ferskvann fra havet til atmosfæren på lavere breddegrader.

Selv om nedbøren har økt i mange områder på kloden, har areal rammet av tørke også økt. Varigheten og intensiteten av tørken har også økt.

Selv om regionale tørkeperioder har forekommet tidligere, er den store romlige utstrekningen av dagens tørke jevnt over konsistent med forventete endringer i det hydrologiske kretsløpet under oppvarming. Mengden vanndamp øker i takt med en økende global temperatur. Dette skyldes økende fordampning der hvor fuktighet langs bakken er tilgjengelig, og dette har en tendens til å øke nedbøren. Høyere temperaturer over kontinentene ventes imidlertid å føre til sterkere fordampning og uttørkning, og dette er særlig viktig i områder med begrenset tilgang på fuktighet ved bakken. Endringer av snømengder og snødekke, og endringer i sirkulasjonsmønstre i atmosfæren og stormbaner kan også redusere forekomstene av fuktighet avhengig av årstid, og dermed bidra til tørke. Forandringer i temperaturen i havoverflaten og tilhørende endringer i den atmosfæriske sirkulasjonen og nedbør har bidratt til endringer i tørke, særlig på lave breddegrader. Resultatet er at tørke har blitt vanligere siden 1970, spesielt i tropiske og subtropiske strøk. I

Australia og Europa har en knyttet nylige tørkeperioder og ekstrem varme direkte til global oppvarming.

2.5 Et paleoklimatisk perspektiv

Vi har sett hvordan ulike proksidata gir informasjon om temperatur i fortiden. Paleoklimatiske studier støtter seg gjerne på bruken av flere proksi slik at resultatene kan bli kryssverifisert og usikkerheter bedre forstått.

Hvordan er temperaturøkningen siste 50 år i forhold til tidligere tiders variasjoner?

Det er *svært sannsynlig* at den gjennomsnittelige temperaturen for den nordlige hemisfære var varmere i løpet av den andre halvdel til det 20. århundre enn i noen annen periode over 50 år de siste 500 årene, og sannsynlig den varmeste i løpet av de siste 1300 årene. Dataene som underbygger disse konklusjonene er mest omfattende for sommersesongen i utenomtropiske landområder.

Paleoklimatiske data er mer begrenset enn de instrumentelle seriene siden 1850 både i rom og tid, og statistiske metoder er anvendt for å oppnå globale gjennomsnitt, noe som også er gjenstand for usikkerhet. Datasettene er for begrensede for den sørlige hemisfære til å kunne gjøre en lignende evaluering der.

Data fra holosen viser variasjoner i breer, men disse variasjonene ble drevet av andre prosesser enn tilbakegangen i siste halvdel av det 20. århundre.

Breer i flere regioner med fjell på nordlige halvkule trakk seg tilbake på grunn av den regionale oppvarmingen som fulgte det orbitale pådrivet i perioden mellom 11 000 og 5000 år siden. Breene var mindre enn i siste halvdel av det 20. århundre (eller helt borte). Dagens nær globale tilbaketrekning av breer i fjellområder har ikke de samme årsakene. En reduksjon i innstrålingen om sommeren gjennom de siste tusen årene skulle tvert om gi gunstige vekstforhold for breer.

Paleoklimatiske data gir belegg for mange regionale klimaendringer.

Styrken og frekvensen på hendelser med ENSO har variert i tidligere klima. Det gir belegg for at styrken på monsunen i Asia, og dermed nedbørsmengdene, kan endres plutselig. Paleoklimatiske data fra nordlige og østlige Afrika, og fra Nord-Amerika, indikerer at tørke som varer fra ti til hundrevis av år, er et tilbakevendende trekk ved klimaet i disse områdene. Dette betyr at nyere tørkeperioder i Nord-Amerika og Nord-Afrika også har funnet sted tidligere. Individuelle paleoklimatiske data med en oppløsning på ti år støtter eksistensen av kvasi-periodisk klimavariasjon på regional skala, men det er usannsynlig at disse regionale signalene har gitt et samlet globalt signal.

Overbevisende data fra marine sedimenter og modellering knytter hurtige klimaendringer gjennom siste istid og overganger mellom istid og mellomistid til endringer i havsirkulasjonen i Atlanterhavet.

Dagens forståelse indikerer at havsirkulasjonen kan bli ustabil og endre seg hurtig hvis kritiske terskler blir oversteget. Slike hendelser (*D-O-hendelser*) har påvirket temperaturen med opp til 16 °C på Grønland og har også hatt betydning for tropiske nedbørmønstre. Hendelsene var antakelig mer assosiert til en omfordeling av varme mellom den nordlige og den sørlige halvkule enn til store endringer i gjennomsnittelig globale temperatur. Slike hendelser har ikke blitt observert i løpet av de siste 8000 årene.

Påliteligheten i forståelsen av tidligere klimaendringer og endringer i det orbitale pådrivet er styrket ved at dagens klimamodeller viser forbedret evne til å simulere tidligere tiders klima.

Klimaet ved den siste istids maksimum (for omtrent 21 000 år siden) og perioden midt i holosen (for 6000 år siden) var forskjellig fra vår tids klima. Årsaken var ikke tilfeldig variasjon, men sesongmessige og globale endringer i det globale pådrivet på grunn av endringer jordas bane. Biokjemiske og *biogeofysiske klimatilbakekoblinger* forsterket responsen til det orbitale pådrivet. Sammenligninger mellom simulert og rekonstruert klima under siste istids maksimum demonstrerer at modellene fanger de grove trekkene ved mønstrene i temperatur og nedbør. For *midtholosen* klarer koblede klimamodeller å simulere sterkere monsuner og en oppvarming på midlere breddegrader. Simulert endring i gjennomsnittelig global temperatur (<0.4 °C) er i samsvar med vår forståelse av det orbitale pådrivet.

Globalt gjennomsnittelig havnivå var sannsynligvis mellom 4 og 6 meter høyere under siste mellomistid, for omtrent 125 000 år siden, enn i det 20. århundret, primært på grunn av mindre is ved polene.

Iskjernedata indikerer at den sentrale deler av Grønland var dekket av is i denne perioden, men at det var betydelig reduksjon i innlandsisen for områder sør på Grønland. Iskjernedata indikerer også at de gjennomsnittlige polare temperaturene til tider var 3-5 °C varmere enn i det 20. århundret, igjen på grunn av forskjeller i jordas bane. Isdekket på Grønland og andre deler av Arktis bidro sannsynligvis ikke med mer enn 4 meter av den observerte økningen i havnivået. Dette betyr at også Antarktis kan ha bidratt.

¹ Thompson, D.W.J. et al. 2008. A large discontinuity in the mid-twentieth century in observed global-mean surface temperature. *Nature* **453**, 646-649.

² http://en.wikipedia.org/wiki/Significant_wave_height

³ http://en.wikipedia.org/wiki/Ice_shelf

VIII.3. FORSTÅELSE AV KLIMAENDRINGER OG DERES ÅRSÅK

Den første IPCC-rapporten fra 1990 inneholdt få belegg basert på observasjoner for antropogen påvirkning på klimasystemet. Seks år senere, i den andre IPCC-rapporten, var konklusjonen at en helhetsvurdering av alle bevis indikerte en klar menneskeskapt påvirkning på klimaet i det 20. århundret. I den tredje IPCC-rapporten fra 2001 var konklusjonen at det meste av den observerte oppvarmingen gjennom de siste 50 år *sannsynligvis* er forårsaket av økt antropogen drivhuseffekt.

Tiltroen til vurderingen av det antropogene bidraget til siste tids klimaendringer, har økt betraktelig siden den forrige hovedrapporten. Delvis skyldes dette et tydeligere signal i nye, lengre tidsserier. I tillegg kommer flere og bedre observasjoner for en mer fullstendig årsakstilskrivning (attribution), som også tar hensyn til andre pådriv i klimasystemet. Tydelig ukonsistens i noen observasjonsrekker, som for eksempel den vertikale profilen i temperaturendringene i troposfæren, er nå i stor grad blitt fjernet. Det er oppnådd forbedringer i klimamodellene med bedre simulering av flere forhold ved dagens klima med variasjoner på tidskalaer fra en sesong til flere tiår. Men usikkerhet gjenstår. Modellene har nå mer detaljerte beskrivelser av flere strålingspådriv, spesielt de som er relatert til aerosoler. Simuleringer av klimaendringene i det 20. århundret er utført med mange flere modeller, med bedre beskrivelse av de antropogene og naturlige drivkreftene enn i den forrige hovedrapporten. Tilgjengelige ensembler, basert på mange modeller, øker tiltroen til tilskrivingsstudier ved å gi bedre uttrykk for usikkerhet. I formelle tilskrivingsstudier av forhold ved klimasystemet utover global temperatur, kommer nå et antropogent signal tydeligere fram. Dette inkluderer endringer i varme lagret i verdenshavene, samt trender i temperaturen på kontinentsskala, temperaturekstremere, sirkulasjon og utbredelse av sjøis i Arktis.

Tab. 1, Fig. 1 og 2 er tatt fra IPCCs tekniske rapport.

Equilibrium CO ₂ -eq (ppm)	Temperature Increase (°C)		
	Best Estimate	Very Likely Above	Likely in the Range
350	1.0	0.5	0.6–1.4
450	2.1	1.0	1.4–3.1
550	2.9	1.5	1.9–4.4
650	3.6	1.8	2.4–5.5
750	4.3	2.1	2.8–6.4
1000	5.5	2.8	3.7–8.3
1200	6.3	3.1	4.2–9.4

Tab. 1: (Table TS.5). Beste estimat, sannsynlig variasjonsbredde og svært sannsynlige nedre grenser i økning i global gjennomsnittelig overflatetemperatur, ΔT (°C), over preindustriell temperatur for ulike stabiliseringsnivå for CO₂-ekvivalente strålingspådriv, som utledet av estimat for klimasensitivitet.

3.1 Framgang i forståelse av endringer i global temperatur i den industrielle perioden: atmosfære, hav og is

Den menneskeskapte oppvarmingen av klimasystemet er utbredt og påviselig i temperaturmålinger tatt ved overflaten, i den frie atmosfæren og i havet.

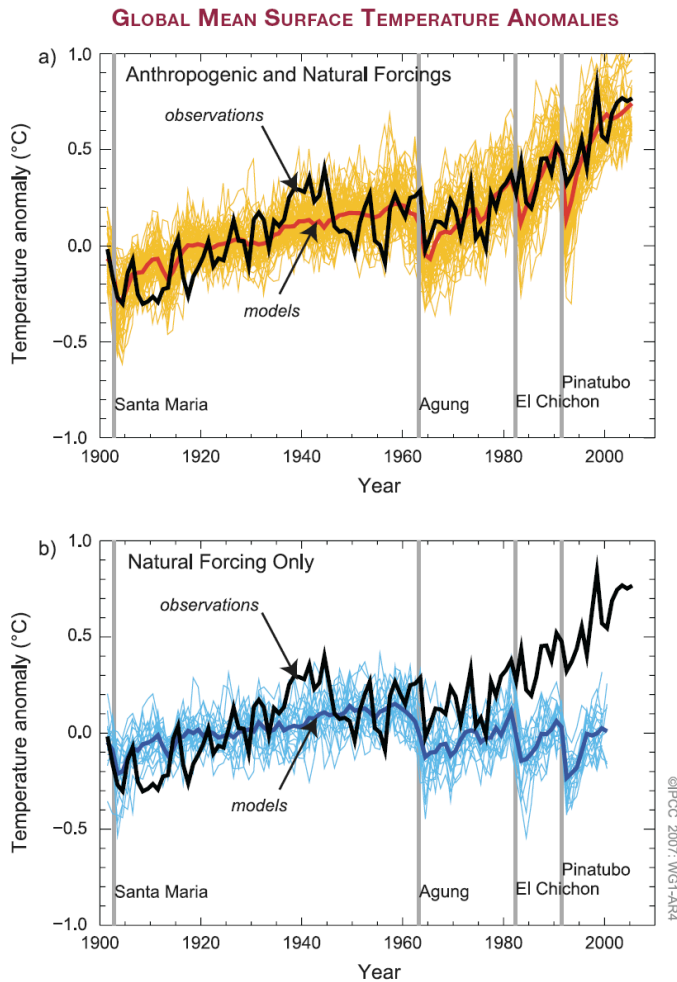


Fig.1: (Figure TS.23). (a) Avvik i global gjennomsnittlig overflate-temperatur i forhold til perioden 1901 til 1950, slik som observert (svart kurve), og som resultat av simuleringer i klimamodeller med både antropogene og naturlig strålingspådriv. Den tykke røde kurven viser gjennomsnitt for alle modellene og de tynne gule kurvene hver enkelt simulering. Vertikale grå linjer angir tid for store vulkanutbrudd. (b) Samme som i (a), bortsett fra at simuleringene bare har hatt med naturlige pådriv. Den tykke blå kurven viser gjennomsnitt for alle modellene og de tynne blå kurvene de enkelte simuleringene.

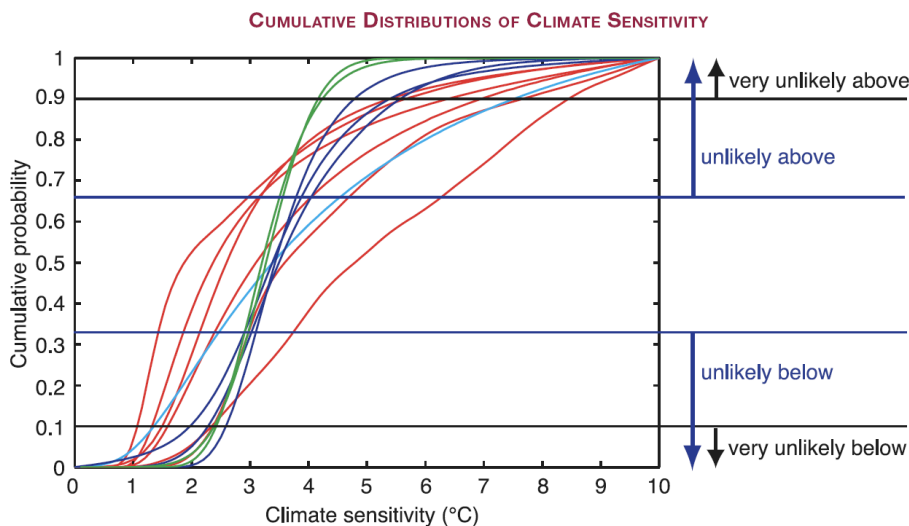


Fig. 2: (Figure TS.25). Kumulativ fordeling av klimasensitivitet beregnet fra observert oppvarming i det 20. århundret (rød), modellklimatologi i det 20. århundret (blå, proksidata lys blå) og fra klimasensitivitet til AOGCMer (grønn). Horisontale linjer og piler markerer grensene for sannsynlighetsestimaterne definert i IPCCs håndtering av usikkerhet.

Bevis for effekten av eksterne påvirkninger på klimaet, både menneskeskapte og naturlige, har fortsatt å øke siden den forrige hovedrapporten.

Bedre modeller og data, *ensembles* med simuleringer og forbedret representasjon av aerosoler og drivhusgasser, har ført til økt tiltro til at de fleste modellene gjengir ganske godt pådrevet variasjon i atmosfæren på dekadisk og mellomdekadisk temporær skala og på stor romlig skala (*romlige og temporære skalaer*). Denne framgangen bekrefter at tidligere klimaendringer på stor romlig skala har vært sterkt påvirket av ytre pådriv. Det eksisterer likevel fortsatt usikkerhet i størrelsen og den temporære utviklingen i de estimerte bidrag fra individuelle pådriv andre enn godt blandede drivhusgasser, for eksempel på grunn av usikkerhet i responsen i modellene på slike pådriv. Noen potensielt viktige drivkrefter, som sotaerosoler, er ikke inkludert i de fleste formelle studier som detekterer og årsakstilskriver endringer. Det gjenstår usikkerhet i estimater for intern klimavariasjoner. For eksempel er det uoverensstemmelser mellom modeller og observasjoner i estimat for variasjonen i oppvarmingen av havet, selv om mangelfull prøvetaking i deler av verdenshavene kanskje kan forklare det meste av denne uoverensstemmelsen. I tillegg er det vanskelig å estimere intern klimavariasjon fra observasjoner, siden disse er påvirket av eksterne pådriv, og fordi tidsseriene fra instrumentelle målinger ikke er lange nok, eller fordi proksidata ikke er nøyaktige nok til å gi en komplett beskrivelse av variasjon på deka- og multidekadeskala.

Det er svært usannsynlig (<5 %) at det globale mønsteret i oppvarmingen, observert i løpet av de siste 50 år, kan forklares uten ytre pådriv.

Disse endringene fant sted over et tidsrom da naturlige drivkrefter (summen av pådriv fra sol og vulkanutbrudd) sannsynligvis bidro til en avkjøling, ikke en oppvarming. Studier viser at det er *svært usannsynlig* at disse naturlige drivkreftene alene kan forklare oppvarmingen som er observert. Det er også økende tiltro til at naturlig intern variasjon ikke kan forklare de

observerte endringene, delvis på grunn av nye studier som viser at oppvarmingen fant sted både i havet og i atmosfæren, sammen med observert reduksjon i ismassene.

Det er svært sannsynlig at den menneskeskapte økningen i drivhusgasser har forårsaket det meste av økningen i den gjennomsnittlige globale temperaturen siden midten av det 20. århundret. Hadde det ikke vært for den avkjølede effekten av atmosfæriske aerosoler, er det sannsynlig at drivhusgassene alene ville ha forårsaket en ytterligere økning i den globale temperaturen enn den som er observert over de siste 50 år.

En nøkkelfaktor i identifisering av påvirkning fra aerosolene, og derfor omfanget av avkjøling som motvirker drivhuseffekten, er temperaturendringene over tid, samt den hemisfæriske kontrasten i oppvarmingen. Konklusjonen at pådrivet fra drivhusgassene har dominert, tar hensyn til usikkerheten både i observasjonene og pådrivet. Konklusjonen er robust med hensyn til bruk av forskjellige klimamodeller, ulike metoder for å estimere respons av eksterne pådriv og forskjellige analyseteknikker. Den tillater også en mulig økning i responsen fra pådrivet fra sola.

Det er blitt påvist utbredt oppvarming i havtemperaturen.

Studier viser nå at det er sannsynlig at antropogene pådriv har bidratt til den observerte oppvarmingen av de øverste lagene (flere hundre meter) av havet globalt i siste halvdel av det 20. århundret.

Det er sannsynlig at antropogene pådriv har bidratt til reduksjonen i dekket av sjøis i Arktis, observert i det siste.

Endringer i sjøis i Arktis er forventet siden det observeres økt oppvarming i Arktis. Tilskrivingsstudier og forbedringer i representasjonen av sjøis og transport av varme i havet, styrker tilliten til denne konklusjonen.

Det er svært sannsynlig at responsen fra antropogene pådriv har bidratt til økt havnivå i siste halvdel av det 20. århundret, men dekadeforandringen i økningen av havnivået er fortsatt lite forstått.

Modellerte estimat for bidraget fra termal ekspansjon på havnivåøkningen passer godt med estimat basert på observasjoner fra 1961 til 2003, selv om budsjettet for havnivåøkning gjennom dette intervallet ikke er lukket. Den observerte økningen i raten for massetap fra isbreer og innlandsis er proporsjonal med den globale temperaturøkningen, slik den forventes i følge fysiske beregninger. Høyere rate for havnivåøkning i perioden 1993-2003 i forhold til 1961-2003 kan være forbundet med økte antropogene pådriv, som sannsynlig har bidratt til den observerte oppvarmingen i det øverste laget av havet og utbredt tilbaketrekking av isbreer. På den annen side indikerer tidevannsmålinger av havnivået at lignende høye rater kan ha forekommet i de foregående 10-årsperiodene siden 1950. Dette betyr at naturlig intern variasjon kan ha vært en faktor i de høye ratene i perioden 1993-2003. Observert dekadisk variasjon i tidevannsmålingene er større enn det som kan forklares ved variasjon i estimat basert på observasjoner av ekspansjon og endringer i is over

land. Videre er den observerte dekadiske variasjon i varmeutvidelsen større enn det som er simulert i modeller igjennom det 20. århundret. Derfor er de fysiske årsakene til variasjonen i tidevannsmålingene usikre. Disse uløste problemene, relatert til endringer i havnivå og dekadisk variasjon gjennom perioden 1961 til 2003, gjør det uklart hvor mye av den høye raten for havnivåøkning i perioden 1993-2003 som kan skyldes naturlig intern variasjon og hvor mye som kan skyldes antropogene klimaendringer.

3.2 Årsakstilskrivning av temperaturendringer i rom og tid

Det observerte mønsteret for troposfærisk oppvarming og stratosfæriske avkjøling skyldes svært sannsynlig innflytelsen av antropogene pådriv, spesielt gjennom økning i drivhusgasser og endringer i stratosfærisk ozon.

Nye analyser siden forrige hovedrapport viser at dette mønsteret samsvarer med en økning i høyden av *tropopausen*, noe som *sannsynlig* skyldes endringer i drivhusgasser og stratosfærisk ozon. Fremdeles er det betydelig usikkerhet knyttet til estimering av troposfæriske temperaturtrender. Dette gjelder spesielt temperaturtrender fra radiosondedata.

Det er sannsynlig at det har vært et betydelig antropogent bidrag til økningene i overflatetemperatur midlet over kontinentene, bortsett fra Antarktis, siden midten av det 20. århundret.

Observasjonsgrunnlaget fra Antarktis er for begrenset til å foreta en vurdering. Antropogen oppvarming har også blitt identifisert i noen subkontinentale områder. Koplede klimamodellers evne til å kunne simulere temperaturutviklingen på hvert av de seks kontinentene, styrker bevisene for menneskelig påvirkning på det globale klimaet. Ingen koplede klimamodell, som bare har brukt naturlige pådriv, har vært i stand til å reprodusere den observerte trenden i global temperatur eller trender i kontinental oppvarming for de ulike kontinent over den siste del av det 20. århundret (Antarktis ikke vurdert).

Det gjenstår vansker med å tilskrive årsakene til temperaturendringer på mindre enn kontinental romskala og på tidsskala mindre enn 50 år.

Resultater om årsakstilskrivning på disse skalaene har, med få unntak, ennå ikke blitt etablert. Ved å ta gjennomsnitt over mindre regioner, reduseres den naturlige variasjonen mindre enn ved gjennomsnitt over større områder. Dette gjør det vanskeligere å skille ut endringer som skyldes eksterne pådriv. I tillegg er temperaturendringer forbundet med visse variasjonsmoder, som kan være dårlig representert i modellene for noen områder og årstider. Videre er detaljer på liten skala i de ytre pådrivene og responsen simulert med modellene, mindre troverdige enn komponenter på stor skala.

Ekstremtemperaturer ved bakken har sannsynlig blitt påvirket av antropogent pådriv.

Mange indikatorer for ekstremer, inkludert mest ekstreme verdier og årlig antall varme og kalde dager og netter, samt antall frostdøgn, viser endringer som samsvarer med en oppvarming. Antropogen innflytelse er avdekket for noen slike indekser. Det er også bevis

for at antropogene pådriv har ført til betydelig økning i risikoen for ekstremt varme sommere regionalt, slik som hetebølgen i Europa sommeren 2003.

3.3 Årsakstilskrivning for endringer i sirkulasjon, nedbør og andre klimavariabler

Trender i den nordlige og sørlige annulære mode (NAM og SAM) over de siste tiår, som svarer til en reduksjon i bakkestrykket over polene og tilsvarende endring i atmosfærisk sirkulasjon, kan sannsynligvis delvis knyttes til menneskelig aktivitet.

Modeller klarer å reprodusere fortegnet på trenden til den nordlige annulære mode, men responsen er svakere enn observert. Modeller som inkluderer endringer både i drivhusgasser og stratosfærisk ozon, klarer å simulere en realistisk trend i den sørlige annulære mode (SAM). Dermed er det avdekket en menneskelig påvirkning på gjennomsnittstrykket for overflaten, en påvirkning som også er konsistent med den observerte avkjølingen nær bakken over deler av Antarktis. Disse endringene i storskala sirkulasjon og deres forbindelse til menneskelig aktivitet, indikerer at antropogene effekter har medvirket til endringer i sirkulasjons- og temperaturmønstrene, samt i vind og stormbaner på midlere og høyere breddegrader. Det er imidlertid vanskelig å tallfeste disse antropogene effektene, i og med at simuleringer gjennom 1900-tallet kun viser en kvalitativ sammenheng med observasjonene på den nordlige halvkule.

Det finnes beviser på ekstern innflytelse på det hydrologiske kretsløpet.

Observerte storskala endringer i nedbør over landområder i det 20. århundret er kvalitativt konsistente med simuleringer, noe som indikerer menneskelig påvirkning på klimaet. Omfanget av tørkeperioder på den nordlige halvkule i siste halvdel av det 20. århundret har økt. Denne økningen er blitt reprodusert i en modell som tok hensyn til både antropogent og naturlig pådriv. Flere studier viser at endringer i arealbruk, som økt hogst av skog til fordel for landbruk, sannsynligvis ikke har vært hovedårsaken til tørke i Sahel og Australia. Sammenligninger mellom modeller og observasjoner indikerer at endringer i stormintensitet, nedbør over Sahel og monsuner, i det minste er delvis relatert til den observerte endringen i havets overflatetemperatur (SST). Det er forventet at antropogent pådriv vil gi en global respons i SST, mens det er ikke etablert en sammenheng mellom regional SST og pådriv. Endringer i nedbør avhenger ikke bare av SST, men også av romlige og temporære endringer i mønstrene for SST og regionale endringer i atmosfærens sirkulasjon. Dette gjør det vanskelig å vurdere betydningen av menneskelig aktivitet.

3.4 Paleoklimatiske studier av årsakstilskrivning

Det er *svært sannsynlig* at klimaendringer i minst syv århundrer før 1950 ikke alene skyldtes intern naturlig variasjon.

Studier viser at det er *svært sannsynlig* at en betydelig del av rekonstruert preindustriell temperaturvariasjon på dekadeskala på nordlige halvkule kan tilskrives naturlige eksterne pådriv. Slike pådriv inkluderer kalde episoder knyttet til kjente vulkanutbrudd, flere større enn de største i det 20. århundret, og langtidsvariasjoner i solstråling, som for eksempel redusert innstråling under *Maunder Minimum*. Videre er det *sannsynlig* at antropogent

pådriv bidro til den tidlige oppvarmingen i det 20. århundret dokumentert i disse dataene. Det er usannsynlig at usikkerhet kan føre til en tilfeldig sammenheng mellom temperaturrekonstruksjoner og rekonstruksjoner av pådriv, ettersom de er utledet av uavhengige proksier. Datagrunnlaget er ikke tiltrekkelig for å gjøre en lignende evaluering for sørlige halvkule.

3.5 Klimarespons på strålingspådriv

Spesifikasjoner i denne rapporten av en *sannsynlig* variasjonsbredde og en mest *sannsynlig* verdi for *klimasensitivitet*, representerer en betydelig framgang siden forrige rapport. Dette gjelder både kvantifisering av klimasystemets respons på strålingspådriv og framskritt i utfordringer i over 30 år om å forstå klimaendringer.

Den forrige hovedrapport ga en variasjonsbredde for klimasensitivitet mellom 1,5 °C og 4,5 °C. Klimasensitivitet er her temperaturøkningen ved likevekt forventet etter en dobling av konsentrasjonen av CO₂ fra førindustriell konsentrasjon. Det har tidligere ikke vært mulig å få fram et beste estimat for sensitiviteten, eller å estimere sannsynligheten for at den kan være utenfor den siterte variasjonsbredden. Flere tilnærminger er blitt brukt i denne vurderingen for å begrense klimasensitiviteten, inkludert bruken av AOGCMer, undersøkelser av temperaturutviklingen (bakke, luft og hav) gjennom de siste 150 årene og undersøkelser av den hurtige responsen til det globale klimasystemet på forandringer i pådrivet forårsaket av vulkanutslipp. Disse resultatene er komplimentert med estimat basert på paleoklimatiske studier, som for eksempel rekonstruksjoner av temperaturen på nordlige halvkule gjennom det siste millennium og under *siste istids maksimum*. Store ensembler av modellsimuleringer har vist at modellenes evne til å simulere dagens klima er med på å avgrense variasjonsbredden for klimasensitiviteten.

Analyser av modeller, sammen med avgrensninger basert på observasjoner, indikerer at klimasensitiviteten ved likevekt sannsynlig befinner seg innenfor 2,0 - 4,5 °C, med et beste estimat på omkring 3 °C. Det er svært usannsynlig at den er mindre enn 1,5 °C.

Verdier betraktelig høyere enn 4,5 °C kan ikke utelukkes, men samsvaret med observasjoner er ikke like bra for slike verdier. *Tetthetsfunksjoner for sannsynlighet* (såkalte PDFer) utledet fra ulik informasjon og tilnærminger, har ofte en lang hale mot høyere verdier enn 4,5 °C. Analyser av utviklingen av klima og pådriv i tidligere århundrer og studier av modellensembler, utelukker ikke en klimasensitivitet på 6 °C eller høyere. En faktor i dette er muligheten for et lite netto pådriv i det 20. århundret dersom det indirekte pådrivet fra aerosoler har hatt den lavest mulige verdi, noe som vil kansellere det meste av det positive pådrivet forårsaket av drivhusgasser. Det finnes imidlertid ingen veletablert metode som tillater å estimere en enkelt PDF fra individuelle resultater og som tar hensyn til forskjellige antagelser i hvert studium. Fraværet av klare føringer som utelukker urealistisk høy klimasensitivitet, hindrer spesifisering av en 95 *prosentil* eller et svært sannsynlig variasjonsområde for klimasensitivitet.

Forbedrede analyser og sammenligninger av modeller med observasjoner gir nå økt tiltro til forståelsen av de avgjørende klimaprosessene viktige for klimasensitivitet.

Endringer i vanndamp, som dominerer tilbakekoblingene som påvirker klimasensitiviteten, er nå bedre forstått. Nye observasjon- og modellbaserte bevis favoriserer sterkt en kombinert vanndampstilbakekobling med samme styrke en finner i klimamodeller (GCMer). Den er omtrent 1 W/m^2 per en grads økning i global temperatur. Dette svarer til omtrent 50 % forsterkning av den gjennomsnittelige globale oppvarmingen. Slike GCMer har demonstrert evnen til å simulere variasjoner i vanndamp i den øvre troposfære over sesonger og dekadere både over land og hav. GCMer har også klart å simulere observert overflatetemperatur og endringer i fuktighet etter vulkanutbrudd. Tilbakekoblingsmekanismer som følge av skyer (spesielt lave skyer) forblir kilden til størst usikkerhet. Det er blitt påvist at kryosfæriske tilbakekoblinger, slik som endringer i snødekket, har bidratt mindre til spredningen i modellestimater av klimasensitivitet enn tilbakekobling fra skyer eller vanndamp. Men slike tilbakekoblinger kan være viktige for regional klimarespons på midlere til høyere breddegrader. En ny sammenligning mellom modeller viser at forskjeller i formuleringer av stråling i modellene også kan bidra til spredning i tilbakekobling.

Forbedrede kvantifiseringer av klimasensitivitet tillater en evaluering av 'beste estimat' for likevektstemperatur og variasjonsbredde avhengig av nivået konsentrasjonen av CO₂ stabiliserer seg på. Disse ulike nivåene er basert på betraktninger av global energibalanse (se Tab. 1).

Som i estimat for klimasensitivitet, kan en ikke etablere en svært sannsynlig øvre grense. En bør merke seg begrensninger i konseptet strålingspådriv og klimasensitivitet. Bare noen få AOGCMer er blitt kjørt til likevekt med høye konsentrasjoner av CO₂, og noen resultater viser at klimatilbakekoblinger kan endre seg over lengre tidsperioder, noe som fører til markante avvik fra estimat av oppvarming basert på tidligere tiders klimaendringer og klimasensitivitet utledet med *klimamodeller med et blandingslag for havet*.

Samsvaret mellom modeller for projiserte transiente klimaendringer er også blitt bedre siden den forrige hovedrapporten. Variasjonsbredden til transient klimarespons (definert som global gjennomsnittlig overflatelufttemperatur over en 20 årsperiode, sentrert over tiden for dobling av CO₂ i et eksperiment med 1 % økning per år) mellom modeller er mindre enn variasjonsbredden i klimasensitivitet ved likevekt. Transient klimarespons er nå bedre avgrenset av ensembler med mange modeller og sammenligninger med observasjoner. Det er *svært sannsynlig* at den er større enn 1 °C og *svært usannsynlig* at den er større enn 3 °C.

Den transiente klimaresponsen er relatert til sensitivitet på en ikke-lineær måte slik at høy sensitivitet ikke nødvendigvis blir uttrykt i korttidsrespons (se *Likevektseksperiment og transiente klimaeksperiment*). Transiente klimaresponser er sterkt påvirket av raten for varmeopptak i havet. Selv om havmodeller er blitt bedre, er det fremdeles slik at systematiske modellfeil og begrensede data av havtemperatur for å evaluere transient varmeopptak av havet, påvirker nøyaktigheten i estimatene.

VIII.4. FREMTIDIGE KLIMAENDRINGER

Global oppvarming kan bli et enormt problem for livet på vår klode, og det er et sterkt ønske om å forutsi hvor stor oppvarmingen vil bli og hva slags klimavariasjoner vi vil stå over for. Vi har summert opp vår kunnskap om klimasensitivitet og allerede anslått endringer i global overflatetemperatur for framtiden for *scenarier* for antropogene utslipp av drivhusgasser (*utslippsscenario*), dvs. det høyeste pådrivet der kunnskapen er sikrest. Når vi ønsker å vite mest mulig om fremtidige klimaendringer, er koplede klimamodeller, AOGCM-er, vårt beste redskap. Her beregnes endringene ut fra scenarier for de ulike pådrivene, som brukes i modellene etter den kunnskapen vi har om dem. Klimamodellene representerer vår evne til å beregne fremtidige endringer over alt på jorda etter visse scenarier for utslipp.

Teoretisk *forutsigbarhet* for å projisere klimaendringer for ulike utslippsscenarier er trolig ganske stor. Modellene representerer dagens evne til slik forutsigbarhet, og den forbedres til stadighet. Modellutviklingen skjer mange steder i verden og de viktigste eksperimentene utføres på samme måte overalt. Resultatene er allment tilgjengelige på internett. Det er utviklet flere metoder for å beregne sannsynlige endringer i klimaet ved å bruke alle modellresultatene. Metodene er blitt anvendt både på global skala og bestemte geografiske områder. De inkluderer metoder basert på resultat fra flere AOGCM-er uten å trekke inn observerte verdier, i tillegg til algoritmer for å oppdage endringer i et sett av flere modellkjøringer, i samsvar med observasjoner av klimaendringer, og tilhørende usikkerhet i disse endringene. Noen metoder gjør nå eksplisitt rede for viktige kilder til usikkerhet, så som tilbakekoblingsmekanismer i klimasystemet, opptak av varme i havet, pådriv fra stråling og karbonkretsløpet. Nært forestående endringer er sammenlignet med observerte trender observert den siste tiden. Noen studier har endatil gitt sannsynlighet for ekstreme klimahendelser som varmebølger forårsaket av menneskelig aktivitet. Det er også gjort framgang gjennom studier av hvor sannsynlige endringer i klimaet er, basert på et utvidet spekter av klimaendringer, og tilbakekoblingsmekanismer mellom klimasystemet og karbonsyklusen.

Fremskritt innen klimamodellering har gitt et statistisk grunnlag for å skille mellom projiserte klimaendringer under ulike *SRES-scenarier* utarbeidet av IPCC¹. Disse scenariene tar sikte på at konsentrasjonen av klimagassene stabiliseres på visse nivå ved år 2100 alt etter ulike scenarier for politisk utvikling i verden. Det er viktig å være klar over at scenariene også omfatter luftforurensing som fører til antropogene aerosoler. Vi skal ikke gå inn i den politiske siden ved SRES, men bare konstatere at det fins ulike stabiliseringsnivå for konsentrasjonene. Det utvikles klimamodeller som omfatter kretsløpet for karbon. Slike modeller starter med scenarier for utslippene og beregner konsentrasjonen av drivhusgasser som CO₂. Slike modeller var ikke med i rapporten fra 2007.

I denne rapporten blir det gjort rede for forskjellen mellom usikkerhet knyttet til klimamodellene og usikkerhet knyttet til fremtidige avtaler for utslipp av drivhusgasser. Modellsimuleringene som presenteres, ser på responsen til det fysiske klimasystemet ved en rekke fremtidige forhold gjennom idealiserte utslipp eller antatte konsentrasjoner av drivhusgasser. Inkludert er eksperimenter der drivhusgasser og aerosoler holdes konstant på

det nivået vi hadde i 2000, eksperimenter med doubling og firedobling av CO₂ og scenarier under SRES.

Fig 1, 2 og 3 er figurer tatt fra den tekniske rapporten. Når det gjelder stigning i havnivået, har vi inkludert estimat for havstigning i våre områder delvis basert på forskning i etterkant av IPCC2007.

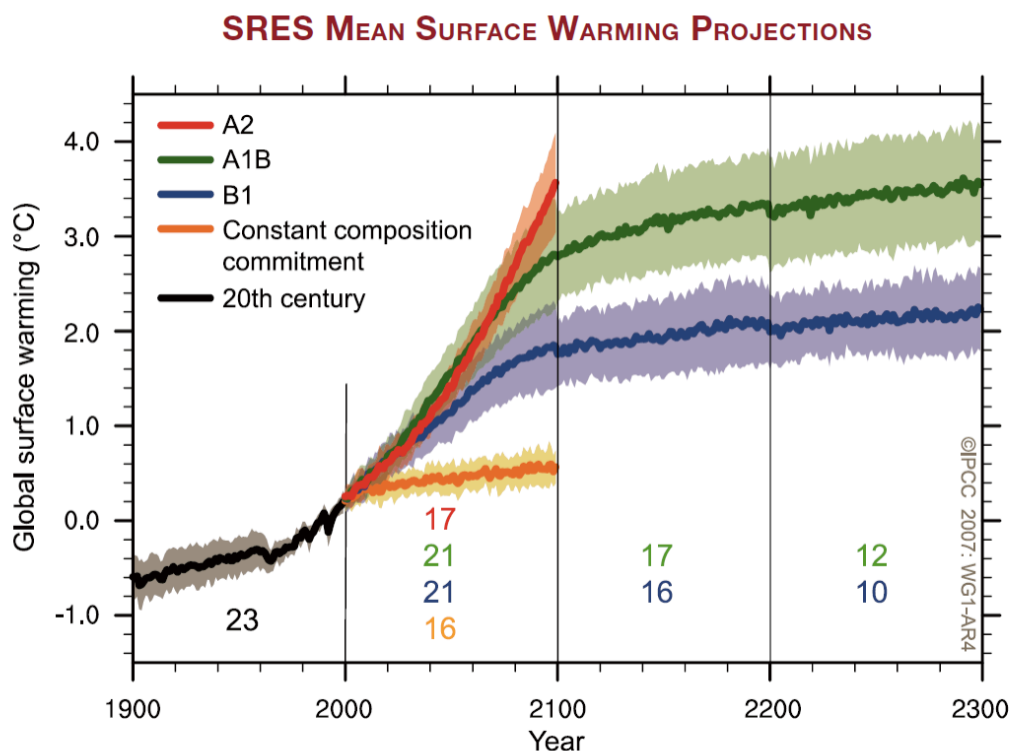


Fig. 1: (Figure TS.32). Modellbasert økning i global overflatetemperatur (sammenlignet med perioden 1980-1999) for SRES-scenariene A2 (rød), A1B (grønn) og B1 (blå), vist som en fortsettelse av simuleringer gjennom det 20. århundret. De siste to scenariene er fortsatt fram til år 2300 med konstante pådriv etter år 2100. Et tilleggseksperiment, der pådrivene er holdt konstante for år 2000 er også vist (oransje). Lineære trender fra tilsvarende kontrollkjøringer er trukket fra tidsseriene. Linjene viser gjennomsnitt for ensembler med flere modeller og skyggeområdene ± 1 standardavvik fra gjennomsnittet.

4.1 Forståelse av klimaendringer i nær framtid

Klimautslipp til nå har gitt betydelige pådriv. Vi har observert noe av responsen i form av oppvarming, men ikke alt. Derfor vil vi få klimaendringer selv om det helt urealistiske skulle skje at konsentrasjonene av drivhusgassene for framtiden holdt seg konstant på dagens nivå. IPCC konkluderer:

Vår kunnskap om klimasystemet sammen med modellsimuleringer bekrefter at tidligere endringer i drivhusgasskonsentrasjoner vil medføre en bunden oppvarming og fremtidig klimaendring.

Dette har vi kalt *bundne klimaendringer*.

De første projeksjonene fra IPCC kom i den første rapporten fra 1990. IPCC har sammenlignet disse med observasjoner som er kommt til senere og skriver:

Tidligere projeksjoner fra IPCC for fremtidig klima kan nå sammenlignes med de nyeste observasjoner. Dette øker påliteligheten til kortsiktige fremtidige projeksjoner og den underliggende fysiske forståelsen av bundne klimaendring over noen få tiår.

IPCC gir for første gang utsagn om endringer for de første tiårene og skriver: Bundne klimaendringer forårsaket av atmosfærens sammensetning i år 2000 svarer til en oppvarmingstrend på omtrent 0,1 °C per tiår de to neste tiårene. Forutsetningen er fravær av store endringer i vulkansk aktivitet eller solstråling. Omtrent to ganger så stor oppvarming (0,2°C per tiår) forventes hvis utslippene blir innenfor variasjonsbredden til SRES-scenariene.

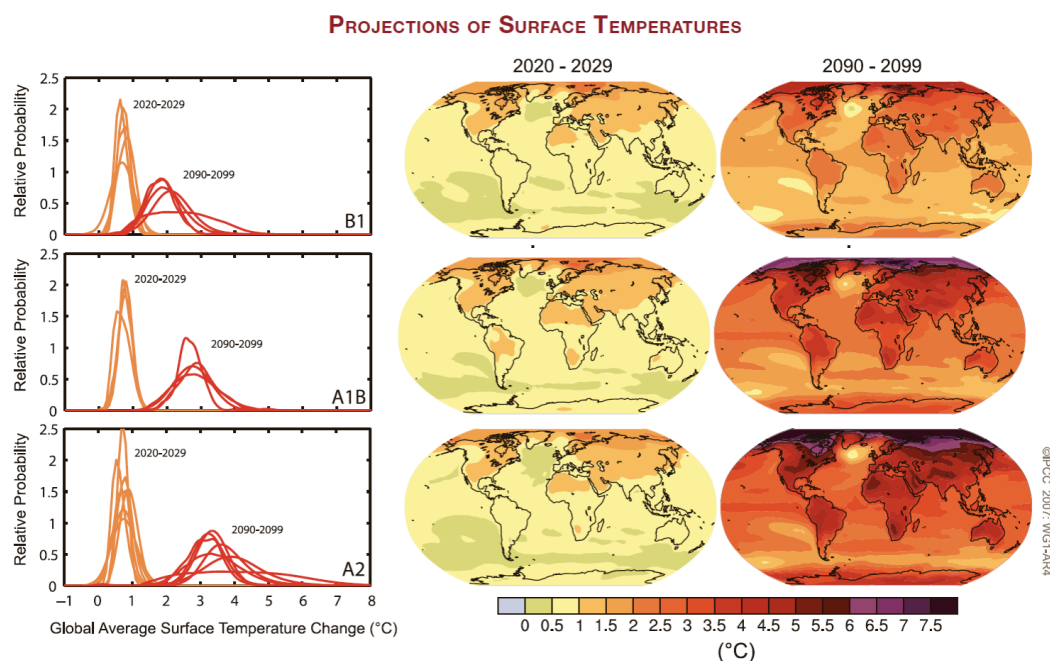


Fig. 2: (Figure TS.28). Projeksjoner av endringer overflatetemperatur tidlig og sent i det 21. århundret i forhold til perioden 1980 til 1999. Panelene i midten og til høyre viser gjennomsnittsprojeksjoner med mange modeller (°C) for SRES-scenariene B1 (øverst), A1B (midten) og A2 (nederst). Panelene i midten gjelder for dekadene 2020 til 2029 og panelene til høyre for 2090 til 2099. Panelene til venstre viser tilsvarende utsikkerhet for samme perioder som relativ sannsynlighet for gjennomsnittlig globale oppvarming fra flere ulike studier.

Resultatet for de første tiårene påvirkes lite av valg av SRES-scenarier. Også variasjonsbredden av forventet oppvarming innen 2050 viser begrenset sensitivitet for valget av SRES-scenarier (1,3 °C til 1,7 °C relativt til 1980-1999).

I det siste har en prøvd å varsle kortsiktige klimaendringer ved å starte fra observerte begynnelsestilstander². Målet er da å få med realistiske bidrag fra *interne klimavariasjon* i tillegg til klimaendringer fra pådriv. Resultatene antyder relativt svak økning i global temperatur for første tiåret etter år 2000. Det vil i framtiden regelmessig komme slike varsler fra observerte tilstander i atmosfære, hav og is.

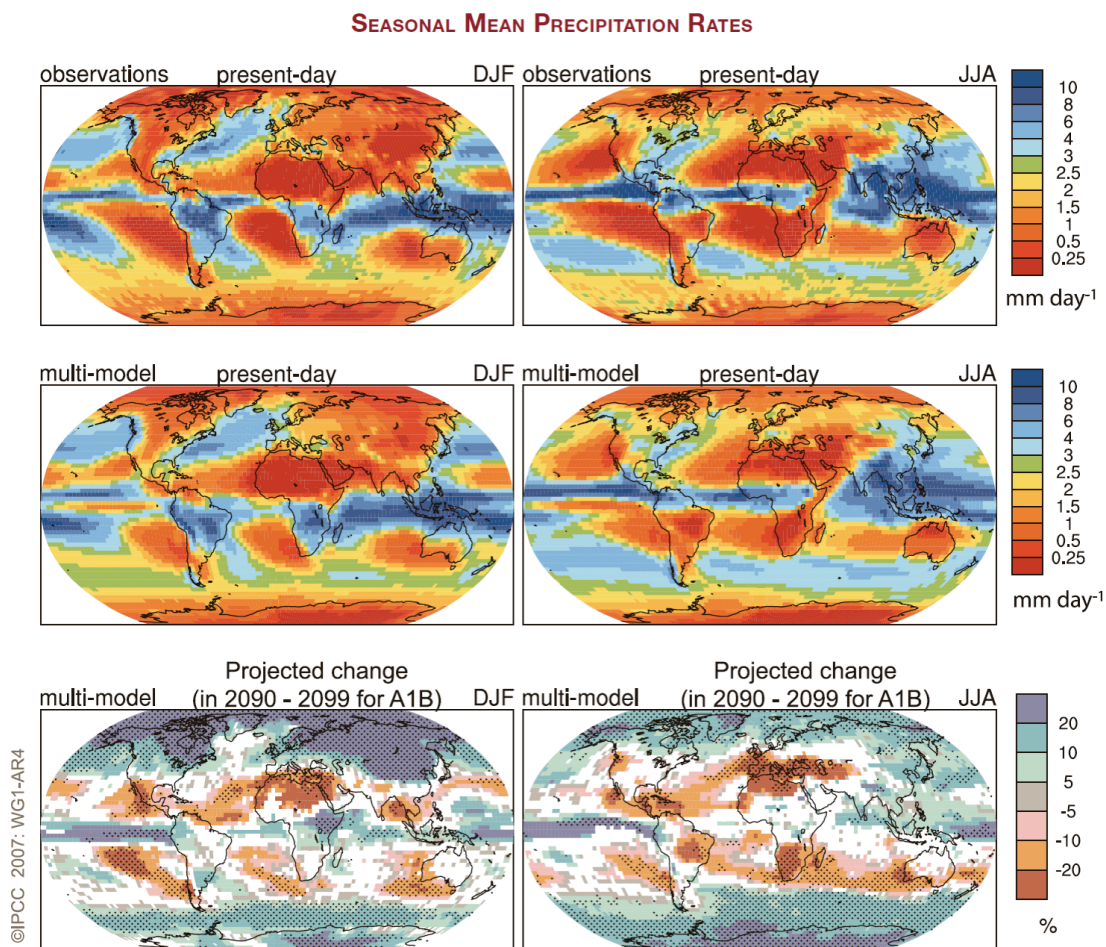


Fig. 3: (Figure TS.30). Romlig fordeling av observert nedbør over årstider (rad øverst) og simulert nedbør i gjennomsnitt fra flere klimamodeller (rad i midten) (mm/(per dag)) for perioden 1979 til 1993. Raden nederst viser prosentvise endringer i klimamodeller fram til perioden 2090 til 2099 i forhold til perioden 1980-1999 basert på SRES-scenariet A1B. Kolonnen til venstre gjelder månedene desember, januar og februar, og kolonnen til høyre juni, juli, august. I den nederste rad er endringene bare plottet der 66% av modellene viser samme fortegn for endringene. Stipling indikerer områder der mer enn 90 % av modellene er enige om fortegnet på endringen.

Det forventes at havnivået vil fortsette å stige de neste tiårene.

I løpet av 2000-2020 er raten av termisk ekspansjon under SRES A1B-scenariet forventet å bli $1,3 \pm 0,7$ mm per år i ensemblet basert på resultater av AOGCMer. Estimater er ikke signifikant forskjellig for A2 eller B1. Det må her legges til at modellene kan underestimere stigningen siden de underestimerer den observerte stigningen siste 50 år³. Oppdaterte satellittobservasjoner gir over 3 mm per år⁴. Men som pekt på tidligere, har vi manglende kunnskap om naturlige dekadefluktasjoner. Det er derfor mulig at noe av det som observeres med satellitter er uttrykk for en naturlig variasjon.

4.2 Storskala klimaprojeksjoner for det 21. århundret

IPCC gir projeksjoner for slutten av århundret. Ved sammenligning av endringer på så lang sikt med klimaet for slutten av det forrige århundret, får interne kortsiktige klimaendringer liten betydning. IPCC konkluderer:

Forventet globalt midlet oppvarming ved overflaten ved slutten av det 21. århundret (2090 – 2099) er avhengig av scenario for utslipp. Den virkelige oppvarmingen vil slik bli signifikant påvirket av de virkelige utslippene. Oppvarming sammenlignet med 1980–1999 for seks SRES-scenarier er (oppgitt som beste estimat med tilhørende sannsynlige intervall): B1: 1,7 (1,0 – 2,7) °C; A1T: 2,4 (1,4 – 3,8) °C; B2: 2,4 (1,4 – 3,8) °C; A1B: 2,7 (1,6 – 4,3) °C; A2: 3,2 (1,9 – 5,1) °C; A1F1: 4,0 (2,4 – 6,3) °C.

Disse resultatene er basert på AOGCMer, visse begrensninger satt av observasjoner og andre metoder til å kvantifisere variasjonsbredden av modellrespons. Kombinasjonen av flere bevisføringer tillater at en sannsynlighet kan tildeles de resulterende intervallene. EU og Norge har satt som mål å begrense oppvarmingen til to grader siden den industrielle revolusjon, dvs. cirka 1,3 °C oppvarming neste hundre år. Vi merker oss at ingen av projeksjonene nevnt over gir så liten oppvarming i beste estimat.

IPCC peker på at oppvarming vil gi en tendens til å redusere opptaket på sikt av atmosfærisk karbondioksid i havet og på land, og at dette øker den delen av de antropogene utslippene som blir værende i atmosfæren. Denne positive tilbakekoplingen er det ikke tatt hensyn til i scenariene over. For A2-scenariet eksempelvis, øker tilbakekoblingene i kretsløpet for karbon den tilhørende globalt midlete oppvarmingen til år 2100 med mer enn 1 °C.

Forventet globalt midlet stigning i havnivå ved slutten av det 21. århundret (2090 – 2099) relativt til 1980 – 1999 basert på resultater fra AOGCM-er, er som følger for de seks SRES-scenariene (beste estimat, 5 % og 95 % sannsynlighet basert på spredningen i resultatene): B1: 0,28 (0,19 – 0,37) meter; A1T 0,33 (0,22 – 0,44) meter; B2: 0,32 (0,21 – 0,42) meter; A1B: 0,35 (0,23 – 0,47) meter; A2: 0,37 (0,25 – 0,50) meter; A1F1: 0,43 (0,28 – 0,58) meter.

Termisk ekspansjon bidrar med 60 - 70 % til det beste estimatet for hvert scenario. De angitte Intervallene inkluderer ikke usikkerhet i karbonsyklusens tilbakekoblinger eller prosesser knyttet til transport i innlandsis mot havet og kalving av is. Den publiserte litteraturen gir ikke grunnlag for slike beregninger. IPCC har fått noe kritikk for disse estimatene, fordi klimamodellene bare får med 50 % av den observerte hevingen for siste 50 år. Det er senere publisert estimat som gir høyere tall for hevingen⁵ (se kommentar nedenfor).

Endringer i kryosfæren kommer til å fortsette å påvirke stigningen i havnivå i løpet av det 21. århundret.

Det er ventet at isbreer og innlandsis vil reduseres i det 21. århundret, fordi økt smelting kommer til å overskride økte snømengder. Innlandsisen i Antarktis vil fortsette å være for kald for storstilt smelting. Den kan derimot ta til seg masse i framtiden på grunn av økte

snømengder. Likevel kan endringer i *isstrøm* mot havet føre til at bidragene til havnivåstigningen fra både Grønland og Antarktis øker. Nylige observasjoner fra noen utløpsbreer på Grønland gir sterke bevis for forsterket isstrøm. På Vest-Grønland har det blitt observert en sesongmessig variasjon i transporten i breene. Dette antyder at smeltevann fra overflaten kan ta del i et system av dreneringsruter under isbreen, noe som "smører" transporten i breen. I løpet av det 21. århundret kan dette føre til en akselerasjon i istrøm og kalving, og dermed øke bidraget til stigning i havnivået. I deler av Vest-Antarktis har det nylig blitt observert store akselerasjoner i isstrømmen, noe som kan ha sin årsak i at bremmene er blitt tynnere på grunn av global oppvarming. Kvantitative projeksjoner av slike iseffekter er ennå ikke blitt gjort med pålitelighet. Dersom den nylig observerte økningen i kalvingsrater fra Grønland og Antarktis skulle øke lineært med økning i global gjennomsnittstemperatur, ville det ha lagt 10-25 % til besteestimatene for havnivåstigning for alle scenariene over. Men mange frykter at slike bidrag kan øke *ikkelineært* og bli langt større⁶. Vi mangler kunnskap for å utføre realistiske prognoser for hvordan innlandsisene vil endre seg som en følge av global oppvarming.

Ideelt sett burde disse resultatene fra IPCC om havstigning være robuste, men ny forskning viser at IPCC trolig har vært for forsiktig i anslagene for hvor mye havet vil stige. For eksempel konkluderte arrangørene av klimamøtet i København i desember 2009 i *Copenhagen Synthesis Report*⁷ at de oppdaterte estimatene for fremtidig økning av havnivået er omtrent det doble av IPCCs projeksjoner.

Flere land har beregnet egne anslag for stigningen for deres kyst, blant dem Norge, Nederland og Storbritannia. Nederland er naturlig nok spesielt bekymret for økt vannstand. En rapport fra landets meteorologiske institutt (KNMI) fra 2006 fant at Nederland må forberede seg på en mulig stigning til år 2100 på mellom 40 og 85 cm. I 2008 leverte en internasjonal gruppe en grundigere vurdering der en tok hensyn til den siste forskningen⁸. De kom fram til tall mellom 55 og 110 cm (uten landheving/synkning; *postglasial overflatetilpassning*). Tallene betraktes som en øvre grense for stigningen, det som kan skje om den globale oppvarmingen går opp mot de øvre grensene gitt av IPCC. Fram til år 2200 finner gruppen øvre verdier fra 2 til 4 meter for Nederland.

Bjerknessenteret har estimert fremtidige endringer i vannstanden for Vestlandet (sommeren 2009)⁹. Bjerknessenteret angir 90 prosent sannsynlighet for at stigningen blir mer enn 50 cm, 50 prosent for mer enn 75 cm og 10 prosent for stigning over 100 cm. For andre deler av landet vil landheving gi mindre verdier. Bjerknessenterets vurderinger bygger delvis på resultatene fra Nederland. En viktig metode som inngår antar at empiriske relasjoner mellom endring i havnivået og endringer i global temperatur gjennom forrige hundreår også vil gjelde for neste hundre år⁵. Men det er også tatt hensyn til annen forskning for å beregne øvre og nedre grense for stigningen.

Sommeren 2009 kom også en rapport om projeksjoner av marine klimaendringer for kysten av Storbritannia (UK-MCP; Marine Climate Projections¹⁰). Britene velger bevisst å bruke andre metoder enn dem brukt i Nederland og Norge. De er redd for at de empiriske relasjonene som inngår, ikke i tilstrekkelig grad vil representere prosessene som vil inngå når

utslagene i global temperatur blir mye større enn i forrige hundreår. I stedet tilpasser de resultater fra IPCC til deres områder. I tillegg har de med en vurdering av mulige maksimumsscenarioer knyttet til mulig økt smelting av innlandsisene på Grønland og i Vest-Antarktis. Rapporten er kvalitetssikret av ganske mange forskere.

Som IPCC bruker UK-MCP resultat fra klimamodellene til å vurdere effekten av at havet ekspanderer når det varmes opp, men bruker bare de modellene som gir best resultat på dagens klima. Generelt viser modellene store regionale variasjoner over verdenshavene. For dagens klima stemmer disse bra med observasjoner. For Storbritannia gir modellene en stigning som i gjennomsnitt er i overkant av gjennomsnittet for alle hav. De bruker samme tall som IPCC for smelting av isbreer. Dette betyr at bidragene fra de store innlandsisene hele tiden er like små som i dag.

Ser en bort fra landhevning, varierer snittverdiene mellom 30 og 46 cm fram til 2100 for ulike scenarier for utslipp av klimagasser. Det er imidlertid stor spredning mellom modellene, og høyeste anslag (95-prosentilen) varierer mellom 48 og 76 cm. Til sammenligning observeres det i dag en gjennomsnittlig stigning for verdenshavene på cirka 3 mm per år, tilsvarende 30 cm på hundre år. Tallene for UK gir mindre stigning enn metodene til nederlenderne og Bjerknessenteret. UK-tallene er imidlertid større enn tallene fra IPCC som gir tall mellom 38 og 59 cm for høye anslag (95-prosentil, gjennomsnitt over alle hav).

Mulig fremtidig økt smelting fra innlandsisene kommer i tillegg og øker usikkerheten i resultatene. Vi vet at store mengder av isen på Grønland smeltet under siste mellomistid, da global temperatur trolig var en grad høyere enn i dag og havet sto flere meter høyere¹¹. Et nytt arbeid basert på sedimentdata i Rødehavet anslår at gjennomsnittlige rater for stigning av havnivået under denne mellomistiden var 1,6 pluss/minus 0,8 m per hundre år¹². Om lignende mekanismer inntreffer under den globale oppvarmingen, gir dette en mulig ekstremverdi for havstigning på 2,4 m for neste hundre år. Om en justerer for regionale variasjoner og effekten av heving/synkning av landoverflaten som følge av at deler av isen på Grønland og i Antarktis smelter, blir denne øvre grensen nedjustert til 1,9 m for UK. UK-MCP vurderer imidlertid denne verdien som svært usannsynlig. Ingen modeller og ingen observasjoner gir i dag indikasjoner om at noe slikt kan skje.

Nye observasjonsstudier viser at tapet av vann fra isen på Grønland er blitt doblet de siste 10 år¹³. Men vi vet ennå ikke om denne økningen er en del av en langsiktig trend eller en naturlig tiårsvariasjon. Også isen over Vest-Antarktis viser tegn på økt smelting¹⁴. Men selv om smeltingen skulle bli ti ganger større, ville bidraget til en ekstra økning i havnivået bare utgjøre 10 til 20 cm fram til 2100. IPCC estimerte et maksimalbidrag på 17 cm. Høyere tall kan ikke utelukkes, men IPCC fant det usannsynlig med større bidrag på så kort sikt.

Det verst tenkelige scenario for økning av havnivået for kysten av Storbritannia er fra 93 cm til 1,9 meter. Men UK-MCP finner det altså svært usannsynlig at det høyeste nivået vil inntreffe innen hundre år. Dette betyr at i praksis er det rimelig samsvar mellom

nederlenderne, Bjerknæssenteret og UK-MCP når det gjelder sjansene for virkelig store verdier for stigningen.

Det store problemet er at vi ikke enda har brukbare modeller som kan prediktere hva som vil skje med innlandsisene. Det er sannsynlig av deler av Grønland vil smelte på sikt, men vi vet ennå ikke hvor mye og hvor lang tid det vil ta. Forbedring av klimamodeller og kontinuerlig overvåking vil etter hvert gjøre oss bedre i stand til å vurdere sannsynligheten for at slike ekstreme hendelser kan inntreffe.

Forventet endring i temperatur i det 21. århundret er positiv alle steder. Den har et maksimum på høye breddegrader og over land på nordlige halvkule om vinteren, og øker med økende avstand fra kysten til det indre av kontinentene. I geografisk lignende områder er oppvarmingen typisk større i tørre enn i fuktige regioner.

Oppvarmingen er minst over sørlige hav og i Nord-Atlanteren. Temperaturen vil også stige over Nord-Atlanteren og Europa til tross for en forventet reduksjon i MOC i de fleste modellene. Dette skyldes en mye større påvirkning fra økningen i drivhusgasser.

Temperaturendringer i atmosfæren, midlet for hver breddegrad (sonalt middel), viser maksimal oppvarming i den øvre troposfæren i tropene og avkjøling i stratosfæren. Sonalt midlet oppvarming i havet er forventet å komme først nær overflaten og på nordlige midlere breddegrader, med en oppvarming som gradvis brer seg nedover, tydeligst på høye breddegrader der den vertikale blandingen er størst.

Det er svært sannsynlig at den atlantiske meridionale omveltningen (MOC) kommer til å bli redusert i løpet av det 21. århundret, med en gjennomsnittlig modellestimert reduksjon i 2100 på 25 % (intervall fra null til mer enn 50 %).

En forventet reduksjon av den atlantiske MOC skyldes de kombinerte effektene av en økning i temperatur og nedbør på høye breddegrader, noe som reduserer tettheten til overflatevannet i Nord-Atlanteren. Svært få studier med AOGCMer har inkludert effekten av ferskvann fra smelting av Grønlandsisen. Men de som fins, antyder at dette kan føre til at MOC blir borte. Alt i alt er det sannsynlig at MOC blir redusert, kanskje knyttet til en signifikant reduksjon i dypvannsdannelse i Labradorhavet, men det er svært usannsynlig at MOC kommer til å gjennomgå en stor og plutselig overgang i løpet av det 21. århundret. Ikke alle modeller viser reduksjon av MOC i dette århundret. Derfor er det mulig IPCC er for sikker i sine konklusjoner om at MOC vil avta. For eksempel kan det være at noe av reduksjonen i noen av modellene kan knyttes til mangelfull oppløsning av havet.

Modeller indikerer at stigningen i havnivå i løpet av det 21. århundret ikke vil bli geografisk uniform.

Geografiske mønstre for fremtidens havnivåstigning skyldes for det meste endringer i fordelingen av varme og saltholdighet i havet og endringer i havets sirkulasjon som følge av dette. Fellestrekkene i modellene er en mindre stigning i havnivå enn gjennomsnittet i

Sørishavet, større enn gjennomsnittet i Arktis, og et smalt bånd med kraftig havnivåstigning som strekker seg på tvers av den sørlige Atlanteren og Det indiske hav.

Projeksjoner av endringer i ekstremer, som hyppighet av hetebølger, er bedre kvantifisert enn i den forrige hovedrapporten, noe som skyldes forbedrete modeller og en bedre vurdering av spredningen mellom modeller basert på ensembler med flere modeller.

Framtidige økninger i temperaturekstremer er ventet å følge økning i gjennomsnittstemperatur over det meste av verden, unntatt der hvor overflateegenskapene (for eksempel snødekket eller fuktigheten i jordsmonnet) endres. En undersøkelse finner at ved slutten av det 21. århundret øker den forventede sannsynligheten for ekstremt varme årstider med over 90 % i mange tropiske strøk, og når rundt 40 % andre steder. Flere nyere studier har tatt for seg fremtidige endringer i hetebølger og funnet at de er blir mer intense i et fremtidig klima, vil vare lengre og forekomme oftere.

For et varmere fremtidig klima venter modellene en nedgang på 50 til 100 % i hyppigheten av kaldluftsutbrudd om vinteren, relativt til dagens klima, i de fleste regioner på den nordlige halvkule.

Snødekket er ventet å minke. Over de fleste permafrostregionene ventes vidstrakt økning i smeltedybden. Etter flere forskjellige scenarier (SRES A1B, A2 og B1) er det ved slutten av det 21. århundret forventet at store deler av havet i Arktis ikke lenger vil ha isdekke hele året rundt.

Arktisk sjøis er sensitiv for oppvarming. Selv om endringene for vinterisen ventes å bli moderate, ventes det at sjøisen vil forsvinne nesten helt sent om sommeren mot slutten av det 21. århundret. Reduksjonen blir akselerert av et antall positive tilbakekoblinger i klimasystemet. Antarktisk sjøisdekke er også ventet å minke i det 21. århundret. De aller siste årene har det vært rekordlite is i Arktis sent på sommeren og tidlig på høsten. Slik har smeltingen gått fortere siste ti år enn i klimamodellenes projeksjoner. Det er ennå ikke påvist hvor mye av smeltingen som skyldes global oppvarming. Klimaet i Arktis er sensitivt for global oppvarming, men også sensitivt for naturlige klimavariasjoner. Den første globale oppvarmingen i forrige århundre fram til 1940 hadde størst utslag i Arktis. Mange mener at denne variasjonen i hovedsak var en naturlig variasjon.

Trykket ved havoverflaten er ventet å øke i subtropiske strøk og på midlere breddegrader og minke over høye breddegrader. Endringene er knyttet til en utvidelse (mot nord på nordlige halvkule) av *Hadleysirkulasjonen* og endringer i de annulære modene (NAM/NAO og SAM).

En positiv trend i NAM/NAO så vel som SAM-indeksen er ventet av mange modeller. Størrelsen på denne endringen er generelt større for SAM enn for NAM, og det er omfattende spredning mellom modellene. Som et resultat av disse endringene er stormbanene forventet å bevege seg mot polene. Dette fører med seg endringer i vind-, nedbørs- og temperaturmønstre utenfor tropene, slik at mønsteret av observerte trender

over det siste halve århundret fortsetter. Noen studier antyder færre stormer på midlere breddegrader.

I de fleste modellene økes SST mer i de sentrale og østlige delene av Stillehavet enn de i vestlige Stillehavet ved ekvator. Endringen gir en tilsvarende midlere forflytning av nedbøren mot øst.

Mellomårlig variasjon i ENSO er ventet å fortsette, selv om endringene er forskjellige fra modell til modell. Store forskjeller mellom modellene hindrer en klar projeksjon for trender i ENSO.

Nye studier med forbedrede globale modeller med oppløsning i intervallet fra 100 til 20 km, antyder fremtidige endringer i tropiske sykkloners antall og intensitet (tyfoner og tropiske orkaner).

En syntese av modellresultatene indikerer en økt maksimal intensitet i vinden i fremtidige tropiske sykkloner, og en økt gjennomsnittlig og maksimal nedbørsintensitet. Det er mulig at antallet relativt svake orkaner vil avta, samtidig med et økt antall intense orkaner. Det er ventet at det totale antall tropiske sykkloner på kloden vil avta.

Siden den forrige hovedrapport er forståelsen av forventede nedbørsmønstre i ferd med å forbedres.

Økning i nedbørsmengdene er svært sannsynlig mange steder, mens reduksjon er sannsynlig i de fleste subtropiske regioner (med så mye som rundt 20 % i A1B-scenariet i 2100). Mot polene fra 50 grader, ventes den gjennomsnittlige nedbøren å øke på grunn av økning i vanddamp i atmosfæren og den tilhørende økningen i transport av latent varme fra lavere breddegrader. Når man beveger seg mot ekvator fra midlere bredder, er det en overgang til stort sett minkende nedbør i subtropiske strøk (20-40 grader). På grunn av økende transport av vanddamp ut av subtropiske strøk og en utvidelse av de subtropiske høytrykkssystemene mot polene, er tendensen mot uttørring spesielt tydelig mot høyere breddegrader av subtropiske strøk.

Modellene antyder at endringer i gjennomsnittlig nedbørsmengde, selv der signalet er robust, vil overstige naturlig variasjon langsommere enn temperatursignalet.

Tilgjengelig forskning indikerer en tendens mot en økning i hendelser med kraftig døgnedbør i mange regioner, inkludert noen områder der den gjennomsnittlige nedbøren er ventet å avta.

4.3 Projeksjoner på regional skala

For hver av de kontinentale regionene er det projisert en større oppvarming for SRES-scenarioer fra 2000 til 2050 enn det globale gjennomsnittet. Oppvarmingen er større enn observert oppvarming over det forrige århundret.

Den forventede oppvarmingen de neste tiårene vil, når den er midlet over kontinentene hver for seg, tydelig overstige den observerte variasjonen estimert for det 20. århundret. Unntaket er Antarktis. IPCC finner at modellens besteestimat for oppvarmingen over ti år ved 2030 vil *svært sannsynlig* for hvert kontinent være minst det doble av tilsvarende variasjon i løpet av det 20. århundret. Igjen tas det et unntak for Antarktis. Den simulerte oppvarmingen for denne perioden er ikke veldig sensitiv ovenfor valg av SRES-scenario. På lengre tidsskala er valg av scenario mye viktigere.

På nordlige halvkule dominerer et robust mønster for økt subpolar og redusert subtropisk nedbør i det projiserte nedbørmønster for det 21. århundret over Nord-Amerika og Europa, mens subtropisk tørke er mindre tydelig over Asia.

Nesten alle modeller projiserer økt nedbør over mesteparten av det nordlige Nord-Amerika, og mindre nedbør over Sentral-Amerika. Store deler av det kontinentale USA og nordlige Mexico er i en mer usikker overgangssone som flytter seg nordover og sørover avhengig av årstid. Det er med pålitelighet projisert avtagende nedbør for det sørlige Europa og middelhavsområdene i Afrika, med en overgang til økt nedbør over det nordlige Europa. Sommertørke er omfattende på begge kontinent. Det er projisert en økning i nedbør i subpolare områder over det meste av Asia. Den subtropiske tørken brer seg fra Middelhavet, men blir erstattet av økt monsunnedbør etter som en beveger seg østover sentralt i Asia.

På sørlige halvkule er det få landområder i sonen for projisert økt subpolar fuktighet gjennom det 21. århundret. Den subtropiske tørken er mer fremtredende.

Projeksjoner av nedbør over tropiske landområder er mer usikre enn for høyere breddegrader. Men til tross for signifikante mangler ved modellering av tropisk konveksjon, vekselvirkningen mellom atmosfære og hav og usikkerhet assosiert med tropiske sykkloner, viser modellene noen robuste trekk.

Regnet i sommermonsunen i Sør- og Sørøst-Asia øker i de fleste modellene, også regn over Øst-Afrika. Fortegnet til nedbørsresponsen over Amasonas og Sahel er betraktet som mindre sikkert.

4.4 Koplinger mellom klimaendringer og biogeokjemiske kretsløp

Klimaendringene beskrevet over ble gitt som resultater fra klimamodeller for bestemte SRES-scenarier. Resultatene i modellene tar hensyn til framtidige scenarier for pådriv og beregner vanlige tilbakekoplinger fra vanndamp, skyer, is/snøalbedo. Det er flere kretsløp av biologisk og kjemisk karakter som ikke har vært med i beregningene, slik som kretsløpet for karbon. Nedenfor oppsummeres kunnskapen om hvordan klimaendringer kan påvirke slike kretsløp. I stor grad dreier det seg om sammenhenger som vi har mangelfull kunnskap om.

Alle modeller som kobler klimaendringer og kretsløpet for karbon, indikerer en positiv tilbakekopling der oppvarming virker til å dempe opptaket av CO₂ over land og over hav, noe som leder til en større økning av CO₂ i atmosfæren og større klimaendringer for gitte scenarier for utslipp. Styrken i denne tilbakekoplingen varierer markert fra modell til modell.

Modelleksperimenter gir en økning i atmosfærisk CO₂-konsentrasjon mellom 10 og 25 % som følge av denne positive tilbakekoplingen. Dette tilsvarer en økt oppvarming på mer enn 1 °C ved 2100. Denne modellforskningen er relativt ny, og det er fremdeles stor usikkerhet i slike anslag.

Økte konsentrasjoner av CO₂ i atmosfæren leder direkte til et surere hav i overflaten. Prosjeksjoner basert på SRES-scenarier gir reduksjoner i pH mellom 0,14 og 0,35 enheter i løpet av det 21. århundret. Slik forsterkes dagens økning på 0,1 enheter fra preindustriell tid.

Forsurningen er en tilleggseffekt av global oppvarming som bekymrer mange. Den kan også påvirke kretsløpet for karbon og slik gi en tilbakekopling. Den vil føre til oppløsning av kalksediment i grunne havområder. I andre halvdel av det 21. århundret kan konsentrasjonen av atmosfærisk CO₂ komme opp i 600 ppm. Da vil overflatelagene i for eksempel Sørishavet bli undermettet med hensyn til kalk. Etter hvert vil dette skje i alle andre havområder og også i dypere vannmasser. Forsurningen vil påvirke marine organismer som danner kalkskall. Nettoeffekten av dette på havets karbonsyklus er ikke tilstrekkelig kartlagt.

På grunn av ulik oppholdstid i jordas atmosfære for ulike pådrivskomponenter, vil fortsatte klimaendringer som skyldes utslipp fram til nå, variere betydelig for de ulike komponentene.

Klimaendringene etter et bestemt utslipp avhenger både av forsinkelsen i klimasystemets respons på strålingspådrivet utslippet gir, og på hvor lenge utslippet oppholder seg i atmosfæren. Klimaendringer som skyldes utslipp av klimagasser til nå, vil slik inkludere en første periode for videre økning i temperaturen og en påfølgende periode der strålingspådrivet avtar. Noen drivhusgasser har kort oppholdstid (dekader), mens andre har lengre oppholdstid på hundre eller tusen år. Vi har sett at CO₂ skiller seg ut med flere tidsskalaer for opphold, noe vil være igjen etter tusen år. På grunn av havets langsiktige bufferrolle, skriver IPCC at det tar 30 000 til 35 000 år for å oppnå full ny likevekt for CO₂ mellom hav og atmosfære. Modellstudier med forenklete modeller viser at klimaendringer på grunn av utslipp av CO₂ til nå, holder seg i mer enn 1000 år. Dette betyr at selv på slik lang tidsskala vil ikke temperaturen og havnivået vende tilbake til førindustrielle verdier. Scenariene SRES forutsetter en stabilisering av konsentrasjonen av CO₂ ved år 2100. For et scenario med et stabiliseringsnivå på 750 ppm og en antakelse om null utslipp av CO₂ etter 2100, tar det 100 til 400 år i ulike modeller før konsentrasjonen synker fra maksimumsnivået til verdier rundt 560 ppm.

Framtidige konsentrasjoner av mange andre klimagasser enn CO₂ og deres *forløpere*, er også antatt å være koplet til framtidige klimaendringer. Ufullstendig forståelse av årsakene til nylige variasjoner i økningsraten for metan, indikerer spesielt stor usikkerhet i projeksjonene for denne gassen.

Metanutslipp fra våtmarker vil *sannsynlig* øke i et varmere og mer fuktig klima, men avta i et varmere og tørrere klima. Observasjoner indikerer også økning i CH₄ utløst fra smelting av permafrost i nord, men den storstilte mengden av denne effekten er ikke kvantifisert. Det er også ventet at klimaendringer påvirker troposfærisk ozon gjennom kjemiske endringer og transport. Endringer i fuktighet vil kunne påvirke OH og endre konsentrasjonen av ozon i stratosfæren og ultrafiolett stråling. Det forundrer kanskje noen av IPCC har så lite å si om utløsning av metan ved smelting av permafrost. Årsaken er mangel på forskning opp til nå.

Det er ventet at framtidige utslipp av flere aerosoler og deres forløpere vil påvirkes av klimaendringer.

Det er kjent at biogene utslipp av flyktige organiske komponenter, en betydelig kilde for organiske aerosoler, er sensitive til temperatur og øker med økende temperatur. Imidlertid dannes det mindre aerosoler når temperaturen øker. Effekten av økt nedbør og fysiologisk tilpassning er usikker. Derfor skriver IPCC at endring i produksjon av biogene organiske aerosoler i et varmere klima kan bli betydelig mindre enn responsen av utslipp av biogene flyktige organiske karbonutslipp. Klimaendringer kan også påvirke flukser av dimetylsvlfid (en forløper for sulfataerosoler) fra havet og saltaerosoler, men effekten av dette på temperatur og nedbør er fremdeles svært usikker.

Mens oppvarmingseffekter av CO₂ representerer påvirkning over flere hundreår, blir aerosoler fjernet fra atmosfæren over en tidskala på bare noen dager. Slik kan det negative strålingspådrivet fra aerosoler endres raskt som en respons av enhver endring i utslippene av aerosoler og deres forløpere.

Fordi svovelaerosoler for tiden *svært sannsynlig* utøver et kraftig negativt strålingspådriv, er fremtidig nettopådriv svært avhengig av endringer i utslipp av svovel. En studie indikerer at dersom man fjerner alle antropogene svovelaerosoler fra atmosfæren, vil dette føre til en rask økning i global temperatur på rundt 0,8 °C i løpet av en dekadé eller to. Endringer i aerosoler vil også påvirke nedbør. På bakgrunn av dette må tiltak for å begrense klimaendringer ta hensyn til utslipp av både klimagasser og aerosoler. Tiltak for å bedre luftkvalitet innebærer ofte reduserte partikkelutslipp, og dette kan ha betydning for klimaet. Endringer i aerosolutslipp kommer ofte fra tiltak for å forbedre luftkvaliteten.

Klimaendringer vil kunne påvirke en rekke kjemiske og fysiske prosesser som kontrollerer luftkvaliteten. Nettoeffekten av dette vil *sannsynlig* variere fra region til region.

IPCC skriver at klimaendringer kan påvirke luftkvalitet ved å modifisere takten i hvor raskt aerosoler og vannløslige forbindelser fjernes fra luften. De vil også påvirke kjemiske prosesser som danner forurensede forbindelser og utslipp fra biosfære, branner og av støv. Bakgrunnskonsentrasjon til ozon vil reduseres i et varmere klima. Nettoeffekten av klimaendringer på luftkvalitet er svært usikker.

4.5. Betydningen av klimaprosesser for klimaprojeksjoner

Her dreier det for en stor del om klimaendringer på sikt, dvs. utover tidspunkt for stabilisering i konsentrasjonene til klimagassene. Det summeres blant annet opp kunnskap om hvor vidt den globale oppvarmingen kan utløse prosesser på sikt som kan gi spesielt bekymringsverdige tilstander, som smelting fra innlandsisene og stans i MOC.

Etter stabilisering av de antropogene strålingspådrivene ventes temperaturen å fortsette å øke omtrent 0,5 – 0,6 °C, det meste i løpet av de første hundre år.

Dersom man stabiliserer konsentrasjonen av drivhusgasser og aerosoler på nivået i år 2000, viser modellene en gjennomsnittlig temperaturøkning over de neste hundre år på 0,6 °C (relativt til middeltemperatur 1980 til 1999). Dersom konsentrasjonene stabiliseres ved år 2100 etter scenariene B1 eller A1B, blir det en lignende oppvarming deretter, omtrent 0,5 °C, med det meste over påfølgende 100 år.

En positiv tilbakekopling fra kretsløpet for karbon, krever større reduksjoner i klimautslipp for å nå et stabiliseringsnivå enn ingen slik tilbakekopling.

Størrelsen på den positive tilbakekoplingen mellom klimaendringer og kretsløpet for karbon er usikker. Dette leder til usikkerhet om hvor store reduksjoner i CO₂ som skal til for å stabilisere konsentrasjonen på et bestemt nivå.

Dersom strålingspådrivene stabiliseres ved år 2100 etter A1B, vil termal ekspansjon alene føre til at havets nivå stiger mellom 0,3 og 0,8 m fram til 2300 (relativt til 1980-1999) og fortsetter å stige i avtakende takt i flere århundrer på grunn av den langsomme blandingen av varme til dyphavet.

Smelting av innlandsisen på Grønland forventes å bidra til økt havnivå etter år 2100.

Dersom konsentrasjonen av drivhusgasser i atmosfæren i år 2100 stabiliseres ved konsentrasjoner etter A1B, vil termisk ekspansjon alene føre til en økning i havnivå på mellom 0,03 og 0,21 meter per århundre. Dersom en global oppvarming mellom 1,9 og 4,6 °C vedvarer over tusener av år, vil dette føre til at nesten all is på Grønland vil smelte. Havet vil i så fall stige opp til 7 meter på en irreversibel måte. Slike temperaturer er sammenlignbare med temperaturene under siste mellomistid for 125 000 år siden, da paleoklimatiske data indikerer reduksjon i polar is tilsvarende 4 og 6 meter i havets nivå.

Dynamiske prosesser, som ikke er inkludert i dagens modeller, men antydnet ved nye observasjoner, kan øke innlandsisenes sensitivitet for global oppvarming. Slik kan havets nivå øke mer enn antatt.

Forståelsen for slike prosesser er begrenset, og det er ingen enighet om deres sannsynlige størrelse.

Dagens modellstudier projiserer at isen i Antarktis vil fortsatt være for kald for utstrakt smelting i overflaten og at massen vil økes på grunn av økt snøfall. Et netto tap av is kan likevel finne sted dersom dynamisk tap av is ved kalving dominerer over massebalansen.

Mens ingen modellkjøringer for denne vurderingen viser en plutselig stans i MOC i det 21. århundret, viser noen forenklete modeller at stans i MOC er mulig som en langsiktig respons ved tilstrekkelig sterk oppvarming.

Sannsynligheten for at dette kommer til å skje kan ikke fastslås med pålitelighet. De få simuleringene som er tilgjengelige med modeller med ulik grad av kompleksitet, antyder en mulig stans over hundreårsskala. En gjenoppretting av MOC er *sannsynlig* dersom strålingspådriv stabiliseres, men det vil ta flere hundre år. Systematisk sammenligning av modellresultater har hjulpet til å etablere noen nøkkelprosesser for årsaken til forskjeller mellom modeller i havets betydning for klimaendringer, spesielt opptaket av varme.

- ¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Special_Report_on_Emissions_Scenarios
- ² Smith, D.M. *et al.* 2007. Improved Surface Temperature Prediction for the Coming Decade from a Global Climate Model. *Science* 317, 796-799.
- ³ The sea level numbers, RealClimate.org 27. mars 2007.
- ⁴ Grønås, S. 2008. Framtidig stigning i havnivået i våre områder. *Plan* 3/2008, 32-37.
- ⁵ Rahmstorf, S. 2007. A semi-empirical approach to oprojecting future sea-level rise. *Science*, 315, 368-370.
- ⁶ Hansen, J. 2007. Scientific reticence and sea level rise. *Environ. Res. Lett.* 2 (2007) 024002.
- ⁷ <http://climatecongress.ku.dk/pdf/synthesisreport/>
- ⁸ http://www.deltacommissie.com/doc/deltareport_full.pdf
- ⁹ www.havstigning.no
- ¹⁰ <http://ukclimateprojections.defra.gov.uk/>
- ¹¹ Otto-Bliesner, B.L. m. fl. 2006. Simulating Arctic climate warmth and icefield retreat in the last interglaciation. *Science*, 311, 1751-1753
- ¹² Rohling, E.J. m. fl. 2008. High rates of sea level rise during the last interglacial period. *Nature Geoscience*, 1, 38-42.
- ¹³ Rignot, E., P. Kanagaratnam 2006. Changes in the velocity structure of the Greenland Ice sheet, *Science*, 311, 986-990.
- ¹⁴ Rignot, E. m.fl. 2008. Recent Antarctic ice mass loss from radar interferometry and regional climate modelling. *Nature Geoscience* 1, 106-110.

VIII.5. ROBUSTE FUNN OG SENTRAL USIKKERHET

Dette er IPCCs oppsummering av dagens klimakunnskap i den tekniske rapporten. Vi lar utsagnene stå uten kommentar.

5.1 Endringer i menneskeskapte og naturlige drivkrefter

Robuste funn:

- Dagens konsentrasjoner av karbondioksid og metan i atmosfæren, og deres tilhørende positive strålingspådriv, er langt høyere enn verdiene funnet i iskjernemålinger som spenner over de siste 650 000 år.
- Bruk av fossilt brensel, jordbruk og arealutnyttelse har vært den dominerende årsak til økningen i drivhusgasser de siste 250 år.
- Årlig utslipp av karbondioksid fra brenning av fossilt brensel, sementproduksjon og gassflammer økte fra gjennomsnittlig $6,4 \pm 0,4$ GtC per år på 1990-tallet til $7,2 \pm 0,3$ GtC per år for 2000-2005.
- Den vedvarende økningen i strålingspådriv fra CO₂, metan og nitrogenoksyder (lystgass) de siste 40 år er større enn noen gang de siste 2000 år.
- Naturlig CO₂-opptak i hav og terrestrisk biosfære fjerner 50-60 % av menneskeskapte utslipp (fossilt karbondioksidutslipp og endret arealutnyttelse). Opptak i hav og terrestrisk biosfære er de siste tiår av samme størrelsesorden, men opptaket til biosfæren er mer variabelt.
- Det er *nærmest sikkert* at antropogene aerosoler gir et negativt netto strålingspådriv (avkjøling) med større amplitude på nordlige halvkule enn sørlige. Nye estimat av det totale antropogene strålingspådrivet fra drivhusgasser, aerosoler og endringer i arealbruk viser at det er *svært sannsynlig* at menneskelige aktiviteter har hatt en betydelig netto varmende effekt på klima siden 1750.
- Solare bidrag til global gjennomsnittlig strålingspådriv er betydelig mindre enn bidraget fra økningen i drivhusgasser i den industrielle perioden.

Sentral usikkerhet:

- Den fulle bredden av prosesser som modifiserer skyenes egenskaper pga. aerosoler, er ikke godt forstått, og størrelsen på de tilhørende indirekte strålingseffektene er dårlig bestemt.
- Årsakene til endringer i stratosfærisk vanndamp, og strålingspådrivet dette gir, er ikke godt kvantifisert.
- Den geografiske fordelingen og tidsutviklingen i strålingspådrivet pga. endringer i aerosoler gjennom det 20. århundret, er ikke godt beskrevet. Årsaken til nye endringer i vekstraten til atmosfærisk metan er ikke godt forstått.
- Rollene til de ulike faktorene som øker konsentrasjonen av troposfærisk ozon siden preindustrielle tider, er ikke godt beskrevet. Strålingspådriv på grunn av egenskaper ved landoverflater og vekselvirkninger land-atmosfære er ikke godt kvantifisert.
- Kunnskap om bidraget fra tidligere solare endringer til strålingspådriv på hundreårsskala er ikke basert på direkte målinger og avhenger derfor sterkt av den fysiske forståelsen.

5.2 Observasjoner av klimaendringer

5.2.1 Atmosfære og jordoverflate

Robuste funn:

- Global gjennomsnittstemperatur for overflaten fortsetter å stige. Elleve av de siste 12 år finnes blant de 12 varmeste årene siden 1850.
- Oppvarmingstakten for overflatetemperatur økte i midten av 1970-årene, og siden har kontinentene blitt oppvarmet omtrent dobbelt så raskt som havoverflaten.
- Endringer i ekstremer i overflatetemperatur er konsistent med oppvarmingen av klimaet.
- Estimer av temperaturtrender i midlere og lavere deler av troposfæren er blitt betydelig forbedret. For perioden 1958-2005 viser nedre del av troposfæren litt raskere oppvarming enn overflaten.
- For nedbørsmengder har det blitt observert langsiktige trender fra 1900 til 2005 i mange store regioner.
- Det har funnet sted en økning i antall hendelser med store nedbørsmengder.
- Siden 1970-tallet har tørke blitt mer vanlig, spesielt i tropene og subtropene.
- Innholdet av vanddamp i troposfæren har økt, i det minste siden 1980-tallet.

Sentral usikkerhet:

- Utbredelsen av radiosondemålinger er mye mindre fullstendig enn overflatemålinger, og belegg tyder på at noen radiosondemålinger er upålitelige, spesielt i tropene. Det er sannsynlig at alle måleserier som gir temperaturtrender i troposfæren, fortsatt inneholder feil.
- Endringer i storstilt atmosfærisk sirkulasjon er tydelige, men kvaliteten på analysene er best etter 1979. Det gjør det ennå vanskelig å skjelne mellom en varig endring og en variasjon.
- Målinger fra overflaten og fra satellitter samsvarer ikke for totalmengde og lave skyer over hav.
- Endringer over flere dekadere i *døgnlig temperaturforskjell* (DTR, diurnal temperature range) er ikke godt forstått, delvis på grunn av begrensede observasjoner av endringer i skydekke og aerosoler.
- Vansker med nedbørmålinger gjenstår som et problem ved kvantifisering av globale og regionale nedbørstrender.
- Måleserier av fuktighet i jorda og regnflom er ofte svært korte og bare tilgjengelige for få regioner. Dette gjør det vanskelig å analysere endringer i tørke.
- Tilgjengelighet på observasjonsdata begrenser hva slags ekstremanalyse som er mulig. Jo sjeldnere hendelser, desto vanskeligere er det å identifisere langtidsendringer, fordi færre tilfeller er tilgjengelig.
- Informasjon om hyppighet av tropiske orkaner og deres intensitet er begrenset før satellittmålinger ble tilgjengelige. Det er også usikkerhet i tolkning av satellittdata.
- Det er utilstrekkelige belegg for å bestemme trender i tornadoer, hagl, lyn og støvstormer på liten romlig skala.

5.2.2 Snø, is og frossen grunn

Robuste funn:

- Mengden av is på jorden avtar. Det har vært en storskala tilbaketrekking av fjellbreer siden slutten av det 19. århundret. Takten i massetapet fra breer og innlandsisen på Grønland er økende.
- Utbredelsen av snø har minket på den nordlige halvkule. Varigheten av sesongavhengig isdekke i elver og ferskvann har avtatt siste 150 år.
- Siden 1978 har gjennomsnittlig årlig utbredelse av sjøis i Arktis vært avtagende, og sommerminimumet i isutbredelsen har minket.
- Isen på Den antarktiske halvøya¹ og Amundsenshelfen² har blitt tynnere i 1990-årene. Utløpsbreer til disse dekkene har akselerert, og en fullstendig oppbrekking av Larsen-B-shelfen³ fant sted i 2002.
- I Arktis har temperaturen på toppen av permafrostlaget økt inntil 3 °C siden 1980-årene. På den nordlige halvkule har maksimum utbredelse av frossen mark om vinteren avtatt med omtrent 7 % siden 1900, og maksimumsdybden har avtatt med omtrent 0,3 m i Eurasia siden midten av det 20. århundret.

Sentral usikkerhet:

- Det fins ingen global samling av in-situ snødata fra før 1960. Gode, velkalibrerte data for vannekvivalenten for snø er ikke tilgjengelig for satellittperioden.
- Det er utilstrekkelig med data for å dra noen konklusjoner om trender i tykkelsen av sjøisen i Antarktis.
- Det oppstår usikkerhet i estimat av massetap fra breer på grunn av begrensede globale budsjettdata, ufullstendige forhold mellom areal og volum og ubalanse i geografisk dekning.
- Estimert massebalanse for isbremmer og innlandsis, spesielt for Antarktis, er begrenset av mangel på kalibrering og validering av endringer funnet ved hjelp av høyde og gravitasjonsmålinger fra satellitt.
- Begrenset kunnskap om grunnleggende prosesser knyttet til innlandsis og deres bevegelse fører til stor usikkerhet i forståelsen av bevegelse og stabilitet i slike isdekker.

5.2.3 Hav og vannstand

Robuste funn:

- Den globale temperaturen (eller varmeinnholdet) i havene har økt siden 1955.
- Storskala regionale trender i saltholdighet har blitt observert de siste tiårene, med ferskere vann på subpolare breddegrader og økt saltholdighet i grunnere områder i tropene og subtropene. Disse trendene er konsistente med endringer i nedbør og økt transport i atmosfæren av vann mellom lave og høye bredder, og fra Atlanterhavet til Stillehavet.
- Globalt gjennomsnittlig havnivå steg i løpet av det 20. århundret. Det er stor tiltro til at takten i økningen av havnivået økte mellom midten av det 19. til midten av det 20. århundret. I perioden 1993-2003 økte havnivået raskere enn i perioden 1961-2003.

- Termisk utvidelse av havet og tap av masse fra isbreer og innlandsis har bidratt vesentlig til den observerte havnivåendringen.
- Den observerte takten i økningen i havnivå for 1993-2003 samsvarer med summen av observerte bidrag fra termisk ekspansjon og tap av is over land.
- Økningen i havnivå de siste tiår har ikke vært jevnt geografisk fordelt.
- Som et resultat av opptak av antropogent CO₂ siden 1750, har surhetsgraden økt i havets overflate.

Sentral usikkerhet:

- Begrensninger i havobservasjoner gjør at tiårlig variasjon bare kan anslås med moderat pålitelighet for globalt varmeinnhold, saltholdighet og endringer i havnivå.
- Det er lav pålitelighet til observasjoner av trender i MOC.
- Global gjennomsnittlig økning i havnivå for perioden 1961-2003 ser ut å være større enn det som kan forklares ved termisk ekspansjon og smelting av is over land.

5.2.4 Palaeoklima

Robuste funn:

- Under forrige mellomistid, for cirka 125 000 år siden, var havnivået *sannsynligvis* 4-6 meter høyere enn i dag i hovedsak som en følge av redusert is i polare områder.
- En rekke raske klimaendringer i fortiden er *svært sannsynlig* knyttet til endringer i havsirkulasjonen i Atlanterhavet, og hadde effekt på klimaet over det meste av den nordlige halvkule.
- Det er *svært usannsynlig* at jordkloden vil gå mot en ny istid på en naturlig måte på de første 30 000 år.
- Biogeokjemiske og biogeofysiske tilbakekoblinger har forsterket fortidens klimaendringer.
- Det er *svært sannsynlig* at gjennomsnittstemperaturen på den nordlige halvkule over de siste 50 år var varmere enn i noen tilsvarende 50-årsperiode over de siste 500 år. Den var *sannsynlig* også den varmeste siste 50-årsperioden over de siste 1300 år.
- Paleoklimadata indikerer med stor grad av pålitelighet at tørkeperioder med varighet over dekadere eller lengre, var en tilbakevendende side ved klimaet i en rekke regioner over de siste 2000 år.

Sentral usikkerhet:

- Mekanismer for start og utvikling av raske klimaendringer og tilhørende terskelverdier er ikke godt forstått. Dette begrenser påliteligheten i klimamodellenes evne til å simulere realistiske raske klimaendringer.
- Det er ikke godt kjent hvor mye innlandsisene tidligere trakk seg tilbake. Det samme gjelder takten i slike endringer og prosessene involvert.
- På sørlige halvkule og i tropene er kunnskap om klimavariasjon lengre tilbake enn noen få hundre år begrenset av mangel på palaeoklimatiske data.
- Forskjellige amplituder og variasjon i rekonstruksjoner av temperatur på tusenårsskala for nordlige halvkule, og forbindelsen mellom disse differansene og valg av proksidata og statistiske kalibreringsmetoder, gir problem som må avklares.

- Mangel på omfattende nettverk av proksidata for temperatur de siste 20 årene begrenser forståelsen for hvordan slike proksier svarer på global oppvarming og effekten av andre endringer i miljøet.

5.3 Forståelse og årsakstilskrivning av klimaendringer

Robuste funn:

- Pådriv fra drivhusgasser har *svært sannsynlig* forårsaket mesteparten av den observerte globale oppvarmingen de siste 50 år. Strålingspådrivet fra drivhusgasser gjennom det siste halve århundret ville *sannsynligvis* ført til en større oppvarming enn den observerte, om det ikke hadde vært for den avkjølede effekten fra aerosoler og andre pådriv.
- Det er *ekstremt usannsynlig* (<5%) at det globale oppvarmingsmønsteret de siste 50 årene kan forklares uten eksterne pådriv, og *svært usannsynlig* at det skyldes naturlige pådriv alene. Oppvarmingen fant sted både i hav og atmosfære på et tidspunkt da naturlige pådriv *sannsynligvis* hadde en avkjølede effekt.
- Det er *sannsynlig* at antropogene pådriv har bidratt til den generelle oppvarmingen observert i de øvste flere hundre meter av havet i siste halvdel av det 20. århundret. Antropogene pådriv, som har resultert i termisk ekspansjon ved oppvarming av havet og smelting av isbreer, har *svært sannsynlig* bidratt til økt havnivå over siste halvdel av det 20. århundret.
- En vesentlig del av den rekonstruerte dekadiske klimavariasjonen på den nordlige halvkule over de siste sju århundrene er *svært sannsynlig* knyttet til naturlige eksterne pådriv (vulkanutbrudd og solaktivitet).

Sentral usikkerhet:

- Påliteligheten i å tilskrive noen klimaendningsfenomen til antropogen påvirkning er begrenset av usikkerheter i strålingspådriv og usikkerheter ved tilbakekobling og observasjoner.
- Årsakstilskrivning på subkontinental skala og tidsskala kortere enn 50 år er begrenset av større klimavariasjon på mindre skala, av usikkerhet i småskala detaljer i eksterne pådriv og simulert respons i modeller, så vel som usikkerhet i simuleringer av intern variasjon på liten skala, inkludert i relasjon til variasjonsmoder.
- Det er mindre pålitelighet i forståelsen av pådrevne endringer i nedbør og bakketrykk enn for temperatur.
- Omfanget av utsagn om årsakstilskrivning er begrenset av fravær av eller et svært lite antall formelle studier av deteksjon og tilskrivning for noen fenomen (for eksempel noen typer ekstreme hendelser).
- Ufullstendige globale datasett for ekstremanalyse og modellusikkerhet begrenser fortsatt hvilke regioner og typer deteksjonsstudier som kan utføres for ekstremer.
- Til tross for økt forståelse avgrensner usikkerhet ved modellsimulert klimavariasjon visse aspekter ved tilskrivingsstudier. For eksempel er det tydelig uoverensstemmelse mellom estimater for variasjon i varmeinnhold i havet fra modeller og observasjoner.
- Mangel på studier som kvantifiserer antropogene bidrag til økning i varmeinnholdet i havet eller smelting av isbreer, sammen med den åpne delen i budsjettet for havnivå for 1961-2003, er blant usikkerhetene knyttet til kvantifisering av antropogene bidrag til økning i havnivå.

5.4 Prosjeksjoner av fremtidige klimaendringer

5.4.1 Modellevaluering

Robuste funn:

- Klimamodeller er basert på veletablerte fysiske prinsipper og har vist at de reproducerer dagens observerte klimaendringer og klimaendringer i fortiden. AOGCMer gir, med betydelig pålitelighet, troverdige kvantitative estimater for fremtidige klimaendringer, særlig på kontinental skala og større. Graden av pålitelighet er større for noen klimaparametere (for eksempel temperaturen) enn for andre (for eksempel nedbør).
- Påliteligheten til modellene har økt på grunn av:
 - forbedret simulering av mange aspekt ved klimasystemet, inkludert viktige moder for klimavariasjon og ekstreme varme- og kuldeperioder;
 - forbedret oppløsning i modellene, beregningsmetoder, parameterisering og inkludering av flere prosesser;
 - mer omfattende diagnostester, inkludert tester av modellenes evne til å varsle endringer på tidskala fra dager til et år ved start fra observerte tilstander; og
 - inngående granskning av modeller, og utvidet diagnose av modellenes kapasitet ved internasjonalt koordinert innsats for å samle og undersøke resultater fra modelleksperimenter utført under samme betingelser.

Sentral usikkerhet:

- Det er ennå ikke etablert et velprøvd sett med måletall for å sammenligne modeller med observasjoner, måletall som kan brukes til å snevre inn spennet i plausible klimaprojeksjoner.
- De fleste modeller har fortsatt problemer med å kontrollere drift i klimaet, særlig i dyphavene. Driften må tas hensyn til når endringer i havvariabler vurderes.
- Modeller er betydelig forskjellige i estimat for styrken av ulike tilbakekoblinger i klimasystemet.
- Det gjenstår problemer med simulering av noen variasjonsmoder, spesielt *Madden-Julian Oscillasjonen*, gjentakende atmosfærisk blokkering⁴ og ekstrem nedbør.
- Systematiske feil er funnet i de fleste modellsimuleringer for Sørishavet, feil som er knyttet til usikkerhet i transient klimarespons.
- Behovet for å ta med flere prosesser og mer utstrakte ensembler med kjøring medfører at klimamodeller fortsatt er begrenset ved den romlige oppløsningen som kan oppnås med dagens computerressurser.

5.4.2 Likevekt og transient klimasensitivitet

Robuste resultat:

- Basert på begrensninger i observasjoner og modeller er klimasensitivitet ved likevekt sannsynlig innen intervallet 2,0-4,5 °C med 3 °C som mest sannsynlig verdi. Det er svært usannsynlig at den er mindre enn 1,5 °C.
- Den transiente klimaresponsen (ved dobling av CO₂) er bedre avgrenset enn klimasensitiviteten ved likevekt. Den er svært sannsynlig større enn 1 °C og svært usannsynlig større enn 3 °C.

- Det fins en god forståelse for opprinnelsen til forskjeller i klimasensitivitet ved likevekt i de ulike modellene. Tilbakekopling fra skyer er den primære kilden til forskjeller i klimasensitivitet ved likevekt mellom modellene, med lave skyer som den største bidragsyter.
- Nye belegg fra observasjoner og simuleringer støtter sterkt en kombinert rate for tilbakekopling fra vanndamp med samme størrelse som finnes i AOGCMer.

Sentral usikkerhet:

- Det gjenstår stor usikkerhet om hvordan skyer vil respondere på globale klimaendringer.

5.4.3 Globale projeksjoner

Robuste resultat:

- Selv om konsentrasjoner av ulike gasser for strålingspådriv ble stabilisert, forventes en fortsatt oppvarming med relaterte klimaendringer, i hovedsak på grunn av en tidsforsinkelse knyttet til prosesser i havet.
- Oppvarming over de nærmeste tiår er i liten grad influert av antagelsene i de ulike klimascenariene eller forskjellig sensitivitet i modellene. Oppvarmingen er konsistent med observerte endringer over de siste dekadene. Midlere oppvarming fra ensembler med alle AOGCM-ene for perioden 2011-2030 relativt til 1980-1999, er i intervallet 0.64-0.69 °C for SRES scenariene B1, A1B og A2.
- Geografisk mønster for projisert oppvarming viser største temperaturøkning på høye nordlige breddegrader og over land, og mindre endringer over hav i sør og Nord-Atlanteren.
- Endring i nedbør viser robuste storskala mønstre: nedbøren øker i de tropiske nedbørsoner, reduseres i subtropene og øker på høye breddegrader som en konsekvens av et forsterket hydrologisk kretsløp.
- Ettersom klimaet blir varmere, vil snødekket og utbredelsen av sjøis reduseres, isbreer og innlandsis miste masse og bidra til økning i havnivået. I det 21. århundret reduseres sjøisen både i Arktis og Antarktis. Reduksjonen i snødekket i Arktis vil akselerere ved positiv tilbakekobling, og en generell økning i dypet for tining om sommeren vil finne sted over mye av områdene med permafrost.
- Basert på dagens modellsimuleringer er det *svært sannsynlig* at MOC i Atlanterhavet vil avta innen år 2100. Det er imidlertid *svært usannsynlig* at raske endringer vil inntreffe innenfor denne tidsperioden.
- Varmebølger vil bli mer hyppige og vare lengre i et fremtidig varmere klima. Antall døgn med frost vil reduseres over alt på midlere og høye bredder men økning i lengden av vekstsesongen. Det er en tendens for opptørking om sommeren sentralt på kontinentene, noe som indikerer større risiko for tørke.
- Fremtidig oppvarming vil redusere jordklodens evne til å oppta antropogent CO₂ (både hav og land). Som et resultat vil en økende del av antropogen CO₂ forbli i atmosfæren. Denne tilbakekoblingen krever reduksjoner i de samlede utslippene konsistent med stabilisering ved et gitt nivå for CO₂, sammenlignet med tilfellet der det ikke er en slik tilbakekopling. Jo høyere stabiliseringsnivå, desto større klimaendringer og større behov for reduksjoner.

Sentral usikkerhet:

- Sannsynligheten for raske endringer i MOC etter utgangen av det 21. århundre kan ennå ikke vurderes med stor troverdighet. For lave og medium utslippsscenarioer for stabilisering av atmosfæriske drivhusgasser etter år 2100, vil MOC styrkes over ett eller flere hundreår etter den første reduksjonen. En permanent reduksjon av MOC kan ikke utelukkes ved et vedvarende sterkt klimapådriv.
- Modellprosjeksjoner for ekstrem nedbør viser større spredning med hensyn til amplitude og geografisk fordeling enn for temperatur.
- Det er fortsatt forskjeller på responsen til modellene for de viktigste klimamodene, slik som ENSO. Dette kan være knyttet til forskjeller i hvordan modellene representerer dagens situasjon i tid og rom.
- Kunnskapen om hvordan tropiske sykloner svarer på klimaendringer er ennå begrenset av oppløsningen av tropiske sykloner i typiske klimamodeller.
- Endringer i sentrale prosesser som driver noen globale og regionale klimaendringer er dårlig kjent (for eksempel ENSO, NAO, blokkering, MOC, tilbakekopling fra landoverflaten, fordeling av tropiske sykloner).
- Størrelsen på fremtidige tilbakekoblinger i kretsløpet for karbon er fortsatt dårlig bestemt.

5.4.4 Havnivå

Robuste resultat:

- Havnivået vil fortsette å stige i det 21. århundre på grunn av termisk ekspansjon og tap av is over land. Økning av havnivå til nå har ikke vært jevnt geografisk fordelt, og vil heller ikke være det i framtiden.
- Projisert oppvarming på grunn av økt utslipp av drivhusgasser i det 21. århundret vil bidra til stingning i havnivå i mange århundrer.
- Stigning i havnivå på grunn av termisk ekspansjon og massetap fra innlandsis vil fortsette i århundrer og tusenår selv om strålingspådrivet stabiliseres.

Sentrale usikkerheter:

- Det finnes ikke modeller som realistisk representerer nøkkelprosessene som kan bidra til store og raske dynamiske endringer i innlandsisene i Antarktis og på Grønland, endringer som kan øke kalving av is til havet.
- Følsomheten til innlandsisens massebalanse (smelting og nedbør) med hensyn på globale klimaendringer er ikke godt avgrenset ved observasjoner og viser en stor spredning i modellene. Det er derfor stor usikkerhet i hvor stor global oppvarming, dersom den opprettholdes, som skal til for å få bort innlandsisen på Grønland.

5.4.5 Regionale projeksjoner

Robuste resultat:

- Middelttemperaturen over alle bebodde kontinent og over mange subkontinentale områder vil *svært sannsynlig* stige fortere enn den globale temperaturøkningen over de neste 50 år, og vesentlig mer enn naturlig variasjon.
- Nedbøren vil *sannsynligvis* øke i de fleste subpolare og polare områder. Denne økningen er spesielt robust, og vil *svært sannsynlig* skje i årlig nedbør i det meste av

Nord-Europa, Canada, nordøst i USA og Arktis, og i vinternedbør i det nordlige Asia og Det tibetanske platå.

- Nedbøren over mange subtropiske områder vil *sannsynligvis* reduseres, og spesielt for høyere bredder av subtropene. Disse resultatene er spesielt robuste, og vil *svært sannsynlig* inntreffe for årlig nedbør i landene ved Middelhavet og for vinternedbør i det sørvestlige Australia.
- Ekstremene i døgnlig nedbør vil *sannsynligvis* øke i mange områder. Økningen er *svært sannsynlig* for Nord-Europa, det sørlige og østlige Asia, Australia og New Zealand – denne listen reflekterer en ujevn geografisk fordeling av eksisterende publiserte undersøkelser.

Sentral usikkerhet:

- I noen regioner har det vært få studier av sentrale aspekt ved regional klimaendring, spesielt med hensyn til ekstreme hendelser.
- Generelle sirkulasjonsmodeller for atmosfære og hav viser ingen konsistens mellom simulerte endringer i regional nedbør i noen sentrale regioner (f.eks. det nordlige Sør-Amerika, det nordlige Australia og Sahel).
- I mange regioner der fjell genererer småskala klimavariasjoner, er det utilstrekkelig informasjon om hvordan klimaendringer vil uttrykkes på disse skalaene.

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Antarctic_Peninsula

² http://en.wikipedia.org/wiki/Amundsen_Sea

³ http://en.wikipedia.org/wiki/Larsen_Ice_Shelf

⁴ [http://en.wikipedia.org/wiki/Block_\(meteorology\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Block_(meteorology))