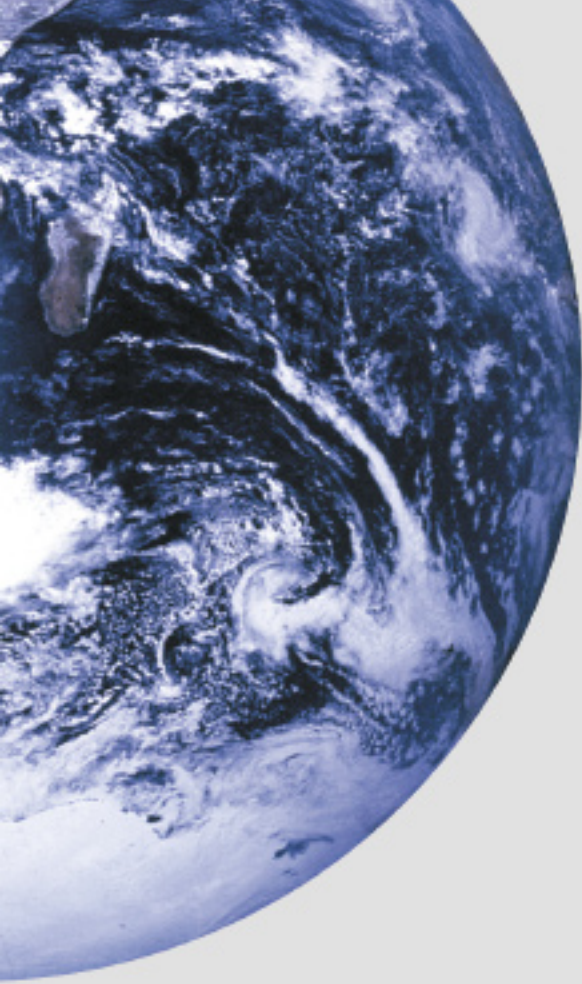


RegClim

Mer variabelt vær om 50 år
Mer viten om usikkerheter





IPCC om globale klimaendringer

Om klimaendringene hittil
fastslår IPCC TAR blant annet:

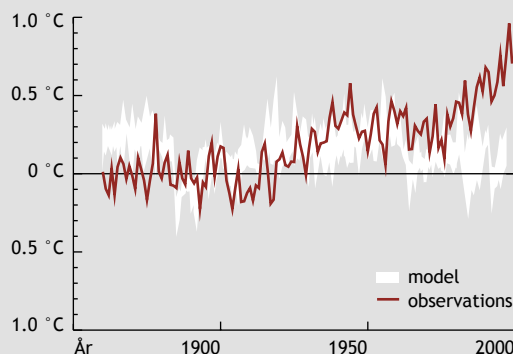
- Konsentrasjonene av drivhusgasser i atmosfæren øker på grunn av menneskers aktivitet. Økningen siden 1750 er for CO₂: 31 %; metan: 151 % og for lystgass: 17 %.
- Luft- og havtemperaturen ved jordens overflate har globalt steget 0,4-0,8 °C over det 20. århundre, som sannsynligvis var det varmeste i de siste tusen år. Økningen er større over land enn hav, og sannsynligvis størst nær bakken.
- Nedbøren har sannsynligvis økt med 0,2-1 % per tiår i regioner med mye nedbør fra før, mens nedbøren i subtropene nord for ekvator sannsynligvis har avtatt.
- Vinterens snødekke har svært sannsynlig avtatt med ca. 10 % siden 1960-årene, og isdekket i Arktis har avtatt betydelig.

• Størstedelen av oppvarmingen de siste 50 år skyldes sannsynligvis økt konsentrasjon av drivhusgasser.

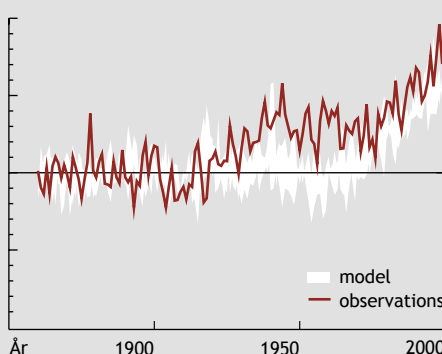
Om ytterligere klimaendringer
sier IPCC TAR blant annet:

- Menneskene vil fortsette å endre atmosfærens sammensetning i det 21. århundre.
- Basert på 35 ulike scenarier for utviklingen av atmosfærens innhold av drivhusgasser og partikler anslår klimamodellene en ytterligere global oppvarming på 1,4-5,8 °C fra 1990 til 2100. Landområder varmes opp raskere enn havområder, og oppvarmingen er raskest ved høye nordlige bredder om vinteren.
- De observerte trendene for nedbør i forrige århundre vil sannsynligvis fortsette.
- Menneskeskapte klimaendringer vil vare i mange århundrer.

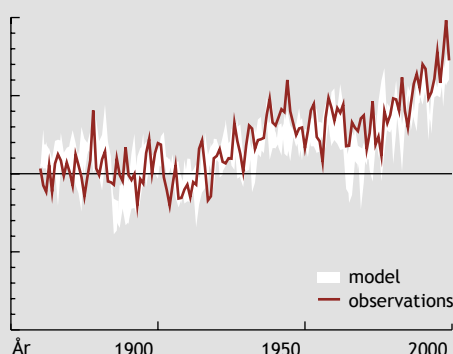
A. Bare naturlige strålingspådriv



B. Bare menneskeskapte pådriv



C. Både naturlige og menneskeskapte pådriv



Den globale temperatur ved bakken fra 1860 til 2000 beregnet ved ulike strålingspådriv (hvite kurver) og observerte endringer (røde kurver). Oppvarmingen tidlig i det 20. århundre kan skyldes naturlige strålingspådriv, mens oppvarmingen de siste 50 år sannsynligvis for en stor del er menneskeskapt. (IPCC TAR).

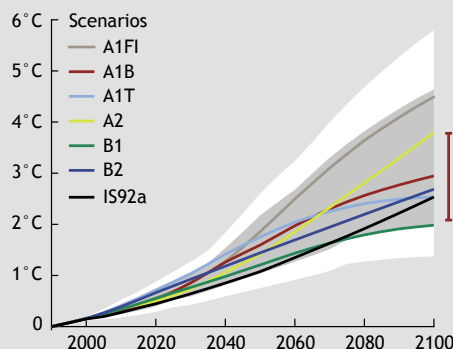
IPCC er FNs klimapanel

Flere tusen fagfolk bidrar til å samle og kvalitetssikre resultater fra klimaforskningen. Rapporter om jordens klima og klimaendringer utgis på dette grunnlaget. Den siste rapporten er fra 2001 og heter **IPCC TAR** (Third Assessment Report). RegClim har bidratt til denne rapporten.

www.ipcc.ch



WMO UNEP



Framtidens globale temperatur beregnet ut fra IPCCs scenarier for drivhusgasser. Grå skravering angir de 7 av IPCCs scenarier som er simulert med komplette klimamodeller, mens hvit skravering også omfatter enklere tilpasninger til alle 35 scenarier. Til høyre angis variasjonsbredden ved år 2100 for hvert av de 7 scenariene. (IPCC TAR).

Om ekstremt vær

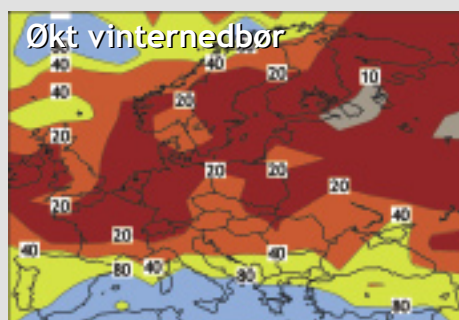
konkluderer IPCC TAR at vi i de siste hundre år sannsynligvis har hatt, og at vi i de neste hundre år vil få:

- Flere varme dager og færre frostdøgn over de fleste landområdene.
- Mindre døgnvariasjon i temperaturen over de fleste landområdene.
- Mer intens nedbør over mange områder.
- Økt risiko for sommertørke over mange landområder.

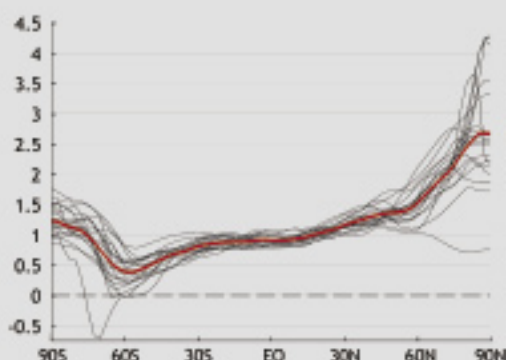
IPCC har ikke konkludert noe om endret stormaktivitet i våre områder.

En artikkel i Nature fra januar 2002 brukte data fra 19 av IPCCs klimamodeller til å anslå endret risiko for mye

nedbør over vintersesongene i Europa. CO₂ konsentrasjonen er doblet i scenariets år 2080 og da anslås en 3- til 5-doblet risiko for sjeldent mye nedbør om vinteren. Om sommeren øker risikoen for tørke tilsvarende i Sør-Europa, mens Nord-Europa da får en doblet risiko for mye nedbør.



I de mørkerøde områdene er risikoen for mye nedbør over vintersesongen firedoblet i løpet av 100 år. Tallene angir beregnet antall år mellom vintersesonger med mye nedbør mot slutten av det 21. århundre. Med mye nedbør menes slike mengder som i forrige århundre bare kom hver 80. vinter. (T. Palmer & J. Räisänen, Nature 2001, 415, 512-514).



Klimamodellenes resultater er usikre nord for 60°N. Her vises økt temperatur i forhold til det globale gjennomsnitt for 19 modeller når CO₂-konsentrasjonen er doblet («2080»). Rød linje er gjennomsnittet. (J. Räisänen, SMHI, Sverige).

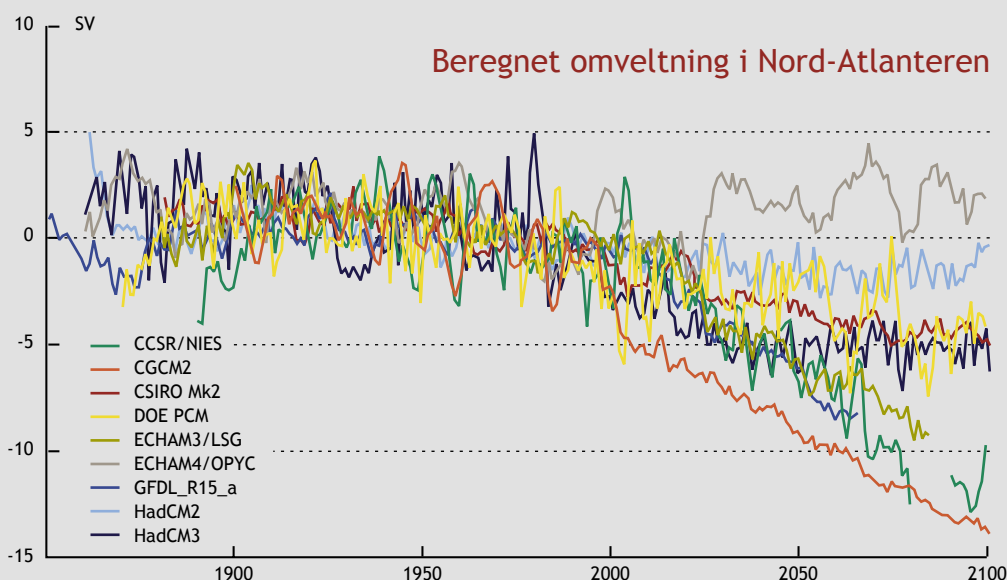
Om usikkerheter i globale klimamodeller påpeker IPCC blant annet at:

- Forskjellen mellom økt lufttemperatur beregnet på bakken og økt temperatur beregnet opp til 8 km over bakken er mindre enn det målingene for de siste 30 årene viser.
 - Tilfeldige naturlige klimavariasjoner er usikkert reproduisert.
 - Beregnede klimaendringer på grunn av strålingspådriv fra partikler i atmosfæren (aerosoler) er svært usikre.
 - Realismen i beregnet transport av varme ned til store havdyp er svært usikker.
 - Klimaendringer beregnet som følge av gitte strålingspådriv varierer betydelig.
- Det regnes som sikkert at vanddampen i atmosfæren forsterker en oppvarming på

grunn av økt drivhuseffekt. Skyer både reflekterer sollys og gir drivhuseffekt, men det er ukjent om de forsterker eller demper en global oppvarming. Skyene gjør også at aerosolenes innvirkning på jordens klima er usikker.

IPCCs modeller beregner særlig sprikende resultater nord for 60°N. Dette skyldes trolig at sjøisen som reflekterer mye sollys, reagerer raskt på endringer. Transporten av varme i havstrømmene over Nord-Atlanteren og inn i Norskehavet kan avta over noen tiår hvis den vertikale omveltning av vann i nord svekkes. Spriket mellom modellenes beregning av denne omveltningen gjør klimautviklingen i våre områder usikker.

RegClim's forskning bidrar til å redusere usikkerhetene knyttet til aerosoler og til havstrømmene i våre nære havområder.



Det er store forskjeller mellom klimamodellenes beregning av den vertikale omveltning av vann i Nord-Atlanteren når drivhuseffekten øker. Her er resultater fra IPCCs modeller vist som den årlige verdi minus gjennomsnittet for 1961-90. (SV= en million kubikkmeter per sekund). Fallende kurver betyr mindre varmt vann i Nord-Atlanteren. (IPCC TAR).

Hva driver klimaendringer?

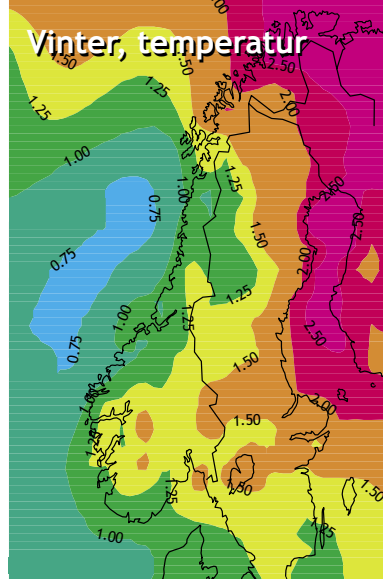
Strålingspådriv. Jorda og atmosfæren absorberer solstråling som naturlig balanseres ved utsendt varmestråling til verdensrommet. En endring i denne strålingsbalansen er et *strålingspådriv* og måles i Watt per horisontal kvadratmeter (W/m²). Hvis jorda og atmosfæren absorberer mer stråling enn før, er strålingspådrivet positivt. Menneskene har sluppet ut drivhusgasser siden ca. 1750 som nå bidrar til et positivt strålingspådriv på ca. 2,4 W/m² (IPCC TAR). Svevende partikler (aerosoler) reflekterer solstråling. Menneske-

skapte aerosoler kompenserer derfor noe av drivhuseffekten.

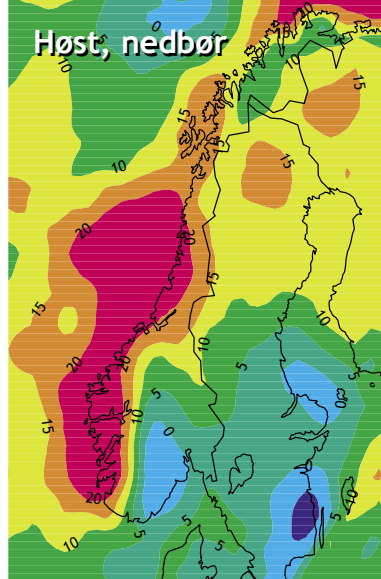
Et strålingspådriv gir en klimaendring ved å påvirke luft- og havtemperatur, nedbør, vind, sjøis, snø osv. Naturlige regionale klimamønstre (som f. eks. El Niño, Den nordatlantiske oscillasjon (NAO), og omveltningen av havvann i Nord-Atlanteren) skaper regionale forskjeller i påvirkningene. **Naturlige klimaendringer** kan oppstå som følge av naturlige strålingspådriv (endret solaktivitet eller vulkanutbrudd). Klimaet omfatter også tilfeldige variasjoner som

ikke skyldes pådriv. **Menneskeskapt klimaendringer** kan oppstå etter utslipp av drivhusgasser og aerosoler og vil ofte ligne på naturlige endringer.

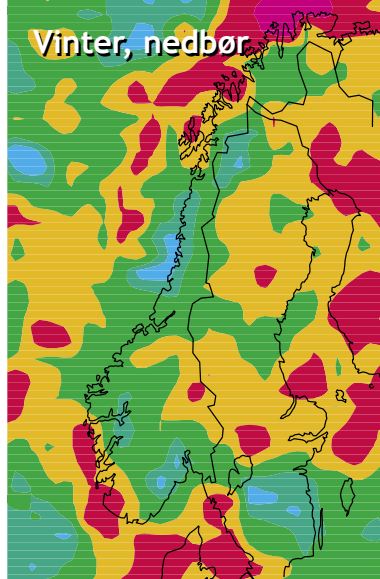
Scenarier for klimaendringer beregnes ut fra en antatt framtidig utvikling av atmosfærens drivhusgasser og partikler. Klimaendringene beregnes med klimamodeller, som simulerer naturlovene for klimasystemet (atmosfæren, havet og landjorda).



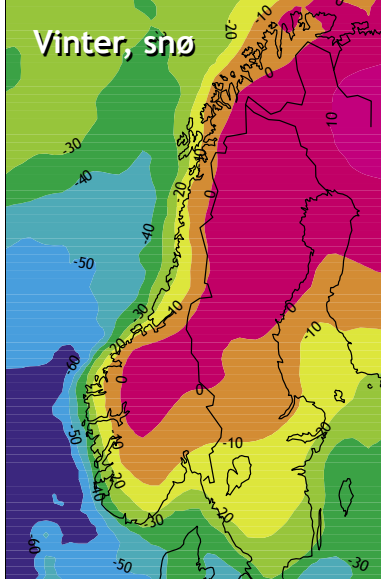
Økning i vinterens gjennomsnitt av døgnets minimumstemperatur (°C).



Økning i nedbør om høsten (%).



Økt forekomst av store nedbørmengder per døgn om vinteren (2 betyr dobbelt så ofte). Store mengder er slike som i 1980-2000 normalt ble overskredet ett døgn per vinter.



Økning i nedbør som snø om vinteren (%).

Klimaendringer fra perioden 1980-2000 til 2030-2050 – Større variasjoner i Norges klima om 50 år

Døgnets minimumstemperatur øker mer enn maksimumstemperaturen.

De største endringer finner vi i Finnmark, der vinterens gjennomsnitt av døgnenes minimumstemperatur øker opp til 3°C. Sommerens gjennomsnittlige maksimum øker til sammenlikning med 1,5-2°C. Sør for Troms øker gjennomsnittet av minimumstemperaturene om vinteren med 1 - 2°C, mens sommerens maksimum øker med mindre enn 1°C.

Mange steder vil intens nedbør komme oftere

Nedbørmengdene øker med ca. 20 % på Vestlandet og på kysten av Troms og Finnmark; og mest om høsten og vinteren. Over det meste av Østlandet er økningene små og om våren muligens avtagende. Om sommeren er endringene minst over Nord-Norge og på Østlandet.

Antall døgn med nedbør øker ikke like mye som mengdene, og det betyr at nedbøren kan bli mer intens. På deler av

Vestlandet beregnes to flere dager i året med over 50 mm. Det er beregnet mer enn doblet risiko for intens nedbør på Vestlandet, indre deler av Trøndelag og på kysten av Troms og Finnmark. Med intens nedbør menes mengder per døgn som i dagens klima kun overstiges en gang hvert år. Om vinteren beregnes tilsvarende økt risiko for intens nedbør på kysten av Vest-Finnmark, på Vestlandet og over nordlige deler av Østlandet.

Det blir mindre nedbør i form av snø over det meste av landet

Nedgangen er nesten 40 % på Jæren og avtar øst for Lindesnes til 10 % ved Oslofjorden. Nordover langs kysten avtar nedgangen jevnt til 10 % ytterst i Troms. Nord for Troms er endringene små, og innover fra kysten avtar nedgangen over hele landet. Det er litt økning i høyfjellet på grunn av økte nedbørmengder om vinteren.

Risikoen for sterk vind, høye bølger og stormflo øker

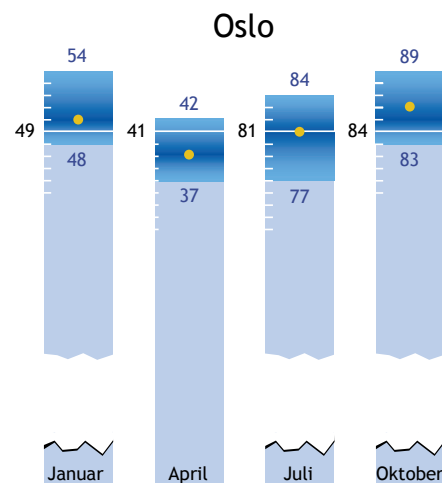
Beregningene viser at sterke vinder som i dagens klima kun forventes oversteget en gang i året, vil kunne opptre mer enn dobbelt så ofte utenfor kysten av Troms og Finnmark, og noe sjeldnere enn dobbelt så ofte for resten av kysten.

For bølgehøyde og økt vannstand ved stormflo beregnes endringer av betydning kun for de aller sterkeste stormene, og resultatene er derfor usikre. Økning i ekstrem bølgehøyde med vel en meter beregnes i Barentshavet. Økningene avtar sør-øst langs kysten og er små i Nordsjøen, men det er et lite maksimum utenfor Stad. Resultatene for stormflo gir ca. 10 cm økt vannstand for de aller sterkeste stormene langs kysten av Troms og Finnmark. Stormflo kommer i tillegg til vanlig flo og fjære, og en eventuell økt vannstand på grunn av varmere hav (5-20 cm; IPCC TAR).

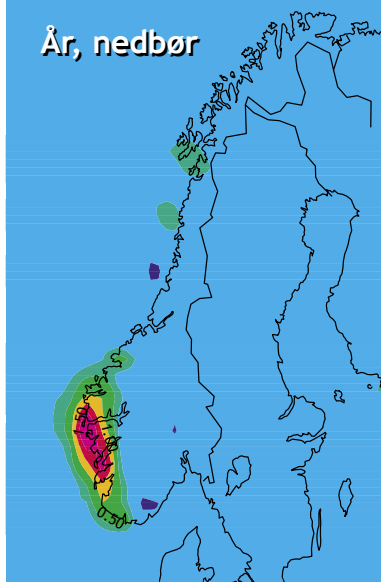
Hvordan beregnes regionale klimaendringer?

Klimaendringer beregnet med globale modeller må regionaliseres før det er mulig å beregne virkningene på natur og samfunn. RegClim bruker to metoder til dette: **Dynamisk og empirisk nedskalering**. Dynamisk nedskalering krever større IT-ressurser enn empirisk nedskalering. **Globale data** til dynamisk nedskalering har RegClim hittil tatt fra Max Planck-instituttet (MPI) i Hamburg.

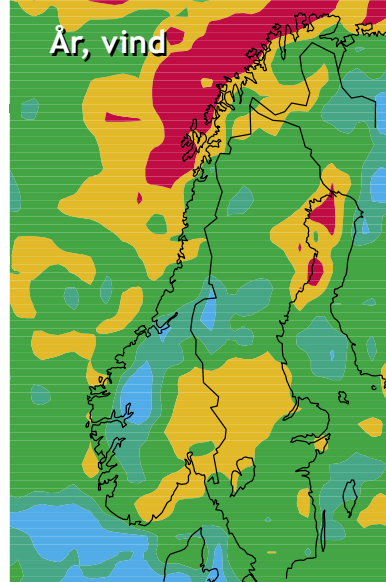
Dette scenariet stemmer bedre overens med dagens globale klima enn andre beregninger. Scenariet går fram til 2050 og har mindre global oppvarming enn de fleste andre fordi aerosoler er tatt hensyn til på en forenklet måte. Empirisk nedskalering er gjort med dette og 16 andre globale scenarier (se søylediagrammer for nedbør).



År, nedbør



År, vind



Økning i antall dager i året med nedbør mer enn 50 mm i døgnet.

Økt forekomst av sterk vind (2 betyr dobbelt så ofte). Sterk vind er den styrke som i 1980-2000 normalt ble oversteget en gang per år.

Usikkerheter: RegClims resultater er ett scenario av flere mulige

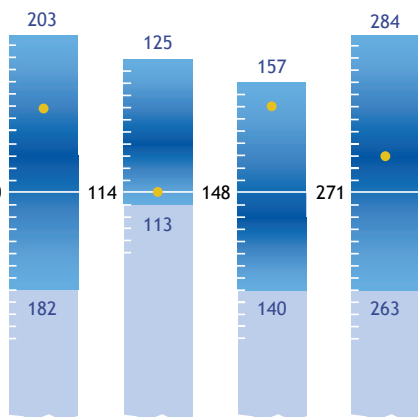
Også resultatene for Norges klima om 50 år er beheftet med usikkerheter. Dette gjelder særlig havområdene nord for Norge, fordi beregnede endringer i isdekket på havet er usikre. Norges kompliserte terreng gjør også at tilfeller med sterk vind eller lave vinter-temperaturer er vanskelig å beregne over land.

RegClim har undersøkt spesielt om andre globale klimascenarier kan gi store avvik fra det som er presentert her. Dette er gjort ved å empirisk ned-

skalere 17 globale beregninger for temperatur og nedbør. Forskjellene kan hovedsakelig knyttes til ulike lavtrykksbaner. Beregningene viser at det er muligheter for andre resultater enn dem vi har presentert. Dette gjelder spesielt for nedbør, men må også forventes å gjelde for vind. RegClims scenario er som regel blant dem som forekommer oftest av de 17, men det er viktige avvik (for eksempel april og juli i Bergen). I det videre arbeid i RegClim er det viktig å komplettere resultatene med flere dynamisk nedskalerte scenarier.

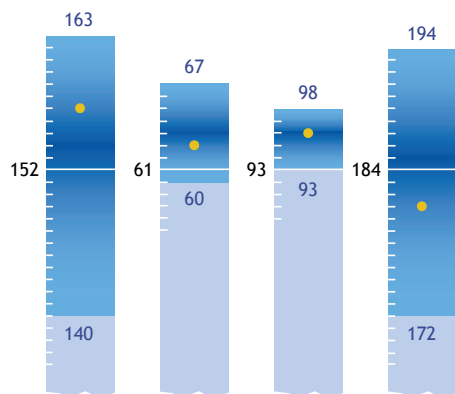
Andre scenarier er mulig

Bergen



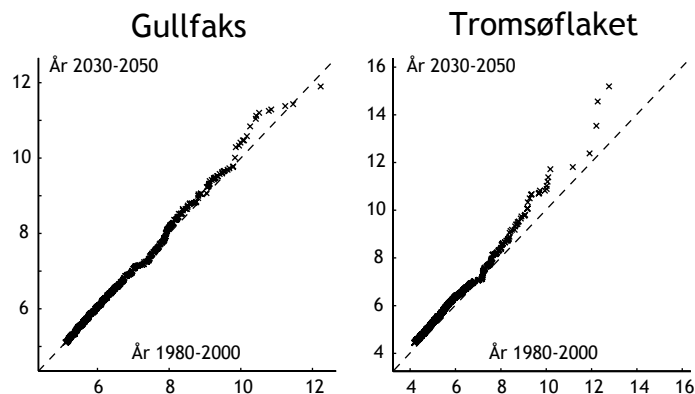
Det er muligheter for andre klimaendringer enn RegClims ene scenario. For valgte måneder i hver sesong og på fire steder i Norge angis dagens normale døgnsnedbør i mm som en hvit strek. De mørkeblå feltene angir sannsynlig variasjon i nedbøren om 50 år ut fra 17 scenarier for global oppvarming. RegClims ene scenario (gul prikk) er ofte sentralt plassert mellom de 16 andre, men ikke alltid. Tilsvarende usikkerhet må antas for vind og andre parametere.

Dunderlandsdal



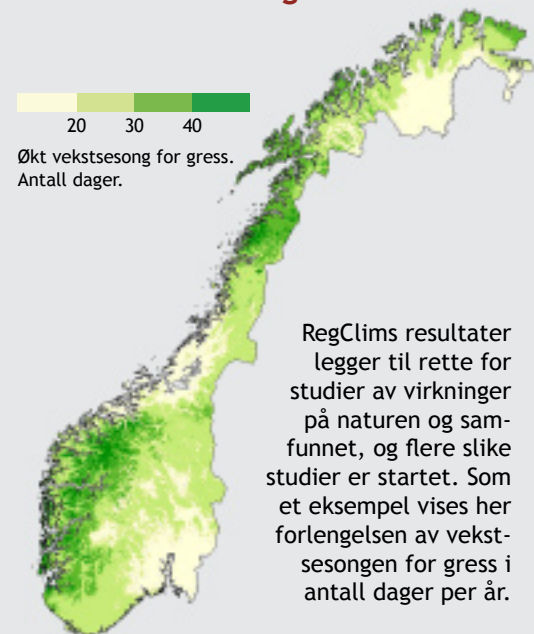
Januar April Juli Oktober

Tromsøflaket



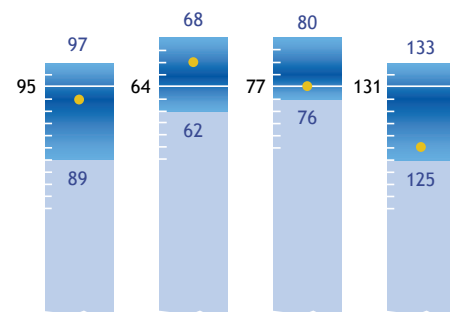
Signifikant bølgehøyde i meter for de 500 sterkeste stormene for 1980-2000 plottet mot tilsvarende stormer for 2030 - 2050. Punkter over diagonalen betyr at det blir høyere bølger om 50 år.

Studier av virkninger



RegClims resultater legger til rette for studier av virkninger på naturen og samfunnet, og flere slike studier er startet. Som et eksempel vises her forlengelsen av vekstsesongen for gress i antall dager per år.

Tromsø



Januar April Juli Oktober

Redusert usikkerhet – Endringer i «Golfstrømmen»

«Golfstrømmen» betegner i dagligtale strømmen av overflatevann i Nord-Atlanteren fra Den meksikanske Golf, over Atlanterhavet og med en grein inn i Norskehavet. Strømmen drives fra dag til dag av vinden, men i et tidsperspektiv lengre enn et par tiår, skyldes variasjonene i økende grad at disse strømmene er en del av **den vertikale omveltningen av vann** (dypvannsdannelsen) i det nordlige Atlanterhavet. Denne omveltningen bringer varmt overflatevann nordover der det avkjøles, synker ned og strømmer sørover som dyp- og bunnvann. Dette er en årsak

til at det er lite is helt inn i Barentshavet og ved Svalbard. Det er viktig å beregne i hvilken grad omveltningen - og dermed varmetransporten i «Golfstrømmen» - kan svekkes ved global oppvarming.

Indirekte målinger tilbake til istidene indikerer at omveltningen tidvis kan stoppe helt opp. Beregninger viser at vårt klima da kan bli 5-10 °C kaldere om forutsetningene ellers er like. Temperaturmålinger i dypet av Norskehavet fra værskipet Polarfront tyder på at styrken på dyphavssirkulasjonen i Norskehavet har avtatt med ca. 25 % i løpet av de siste 50 år. Om dette kan knyttes til omveltningen i Nord-Atlanteren er ennå ukjent.

Endres havstrømmene under global oppvarming?

En joker i drivkraften bak den vertikale omveltningen i Nord-Atlanteren er tilførselen av ferskt vann på havoverflaten i nord fra nedbør og



Det arktiske isdekket i mars til venstre, isdekket i august til høyre. Lyseblått er ved konstant CO₂ (Dagens klima), hvitt er ved doblet CO₂ («2080»). Beregnet med RegClims klimamodell BCM.

elver. En økt tilførsel av ferskt vann ved global oppvarming vil kunne dempe omveltningen. Nye resultater i RegClim med *Bergen Climate Model (BCM)* viser imidlertid bare små endringer når CO₂-konsentrasjonene øker. (Påvirkning av aerosoler er ikke med her.) Det samme er funnet med MPI-modellen i Hamburg. Grunnen er at fordampningen i subtropene øker slik at vannet blir saltere. Noe av den økte saltholdigheten transporteres mot nord og motvirker effekten av den økte nedbøren der.

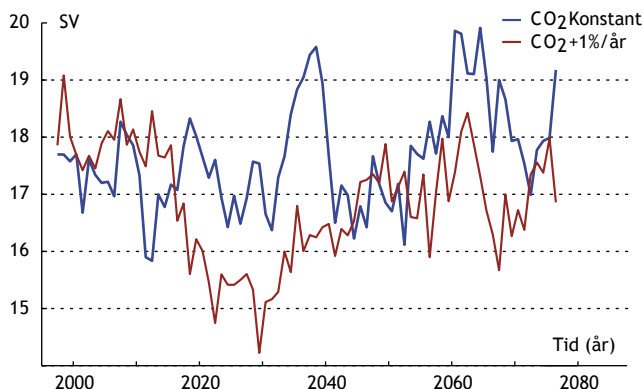
Det må anses som mulig at varmetransporten i «Golfstrømmen» vil kunne svekkes, men det er lite sannsynlig at den vil stoppe opp i løpet av de neste hundre år. Også de modellene som beregner størst reduksjon av omveltningen i Nord-Atlanteren gir varmere klima i våre

områder. Dette tyder på at den globale oppvarmingen mer enn kompenserer for en eventuell regional avkjøling av en svekket havstrøm. Dette gir økt tiltro til RegClims regionale klimascenarier.

Golfstrømproblematikken er knyttet til isdekket i Arktis. De siste anslagene for isens tykkelse er en reduksjon på 10-15 % fra 1950-årene til 1990-årene. I alle scenarier for klimaendringer reduseres utbredelsen av sjøis i Arktis, men store forskjeller gjør at usikkerheten er betydelig. De mest nøkterne modellene åpner for at skip kan passere nord for Eurasia om sommeren etter år 2050, men de har ennå is i deler av Arktis om sommeren ved år 2100. RegClims beregninger av det arktiske isdekket med BCM er blant de mest realistiske for dagens klima.



Skjematisert framstilling av overflatestrømmene i Nord-Atlanteren: Golfstrømmen [1] og Den Nord-Atlantiske drift [2].



Årlig transport av vann i den vertikale omveltningen i Nord-Atlanteren beregnet med RegClims globale klimamodell BCM. Blå kurve for konstant CO₂, og Rød kurve for en CO₂-økning på 1 % per år. Det er store tilfeldige variasjoner, men økt CO₂ svekker neppe sirkulasjonen og varmetransporten i Nord-Atlanteren.

Redusert usikkerhet – Betydningen av aerosoler

Aerosoler er svevende partikler i luft som er mindre enn en mikrometer. Naturlig består de av sjøsalt og jordstøv med bidrag fra biologisk produksjon i havet, fra vulkanisme og fra skogbranner. Menneskeskapte partikler endrer de naturlige aerosolenes egenskaper og skaper strålingspådriv.

Aerosoler dannes ved nesten all forbrenning. Svovelpartikler (sulfat) og sot er viktige i klimasammenheng. Aerosolene kan skape **direkte strålingspådriv** ved å endre absorpsjon og refleksjon av sollys. Det er særlig sot som absorberer. **Indirekte strålingspådriv** skapes ved at skyene blir påvirket. RegClim beregner globalt et betydelig negativt indirekte pådriv ($-1,7 \text{ W/m}^2$) på grunn av økt refleksjonen av solstråling. Det direkte pådrivet er globalt $-0,12 \text{ W/m}^2$ i netto, men har også betydelige positive bidrag ved at sot absorberer solstråling. Disse tallene kan sammenliknes med drivhusgassenes positive pådriv ($2,4 \text{ W/m}^2$), men har mye større geografisk variasjon. RegClim har utviklet en global klimamodell (CCM-Oslo) med forbedret beregning av skyer og med nye metoder for aerosoler og deres egenskaper. Resultatene her viser kun påvirkning av menneskeskapte aerosoler alene. Bidrag fra drivhusgasser vil komme i tillegg.

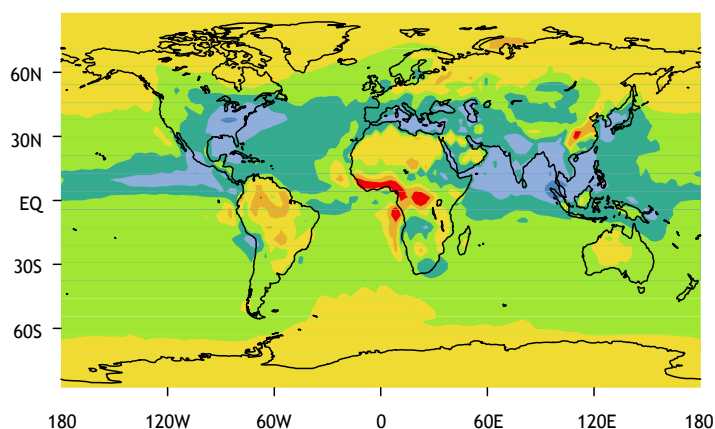
Avkjøling i Arktis og store nedbørendringer i tropene

RegClims beregninger viser at aerosolene stort sett bidrar til avkjøling. Den geografiske fordeling av avkjøl-

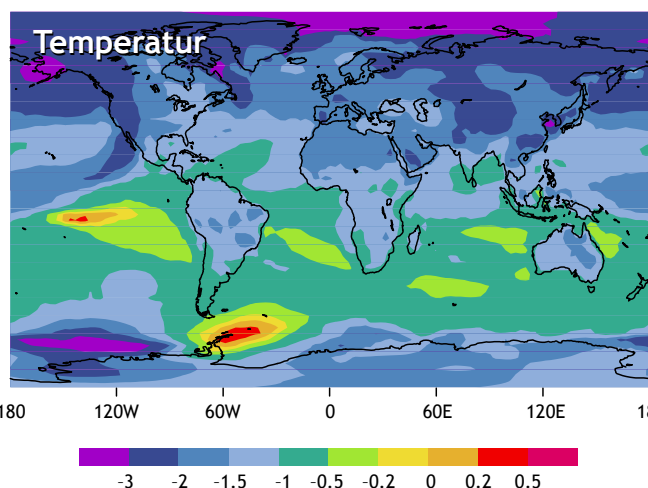
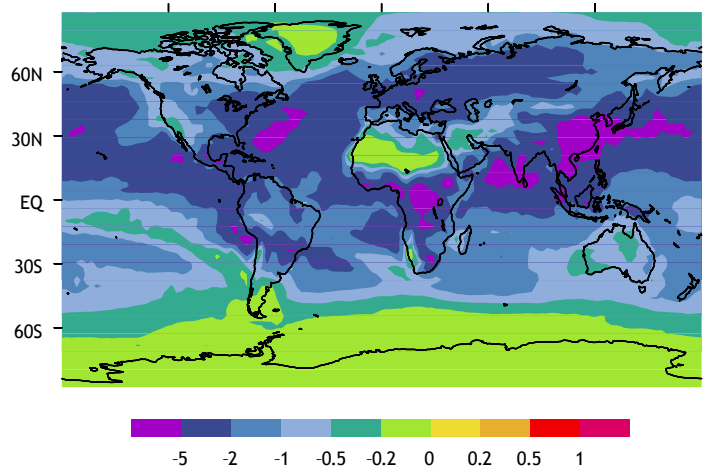
ingen ligner ikke på strålingspådrivet. På tross av lite strålingspådriv i Arktis, er den beregnede avkjølingen sterkest i det polare nord-området. Det er også betydelig avkjøling i våre områder. Avkjølingen i Arktis skyldes forsterkende effekter av et økt isdekke på havet. Klimaendringene av de direkte og indirekte strålingspådrivene ligner hverandre, men de indirekte effekt-

ene er størst. Særlig dramatisk er en forflytning av det tropiske regnbelte mot sør, med muligheter for store regionale samfunnskonsekvenser. Til sammenligning er nedbørendringene i vår region moderate. RegClims aerosolberegninger er mer realistiske enn dem som brukes i de aller fleste andre klimamodeller, men usikkerhetene er ennå betydelige.

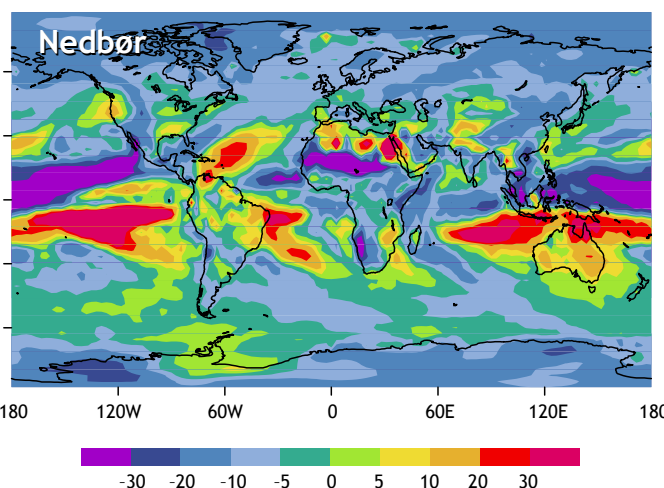
Kart over direkte strålingspådriv av menneskeskapt svovel og sot (W/m^2). Globalt gjennomsnitt er: $-0,12$; for den Nordlige Halvkule (NH): $-0,19$; og den Sørlige (SH): $-0,05$. Positive tall betyr mer absorbert stråling.



Kart over indirekte strålingspådriv av menneskeskapt svovel og sot (W/m^2). Globalt gjennomsnitt: $-1,83$; NH: $-2,61$; SH: $-1,06$.



Endret årlig gjennomsnittstemperatur som følge av det indirekte strålingspådrivet ($^{\circ}\text{C}$). Globalt gjennomsnitt: $-1,28$; NH: $-1,65$; SH: $-0,91$. Det er størst avkjøling i Arktis.



Endret årlige mengder av nedbør som følge av det indirekte strålingspådrivet (%). Globalt gjennomsnitt: $-3,6$; NH: $-10,1$; SH: $+2,6$. Det er store endringer i tropene og moderate endringer hos oss.

RegClim

Formål:

Å anslå mulige klimaendringer i Norge, havområdene nær Norge og deler av Arktis - våre områder - som følge av den menneskeskapte økning av den globale drivhuseffekten. Resultatene danner grunnlag for studier av konsekvenser for Norges natur og samfunn.

- Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo
- Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen
- Havforskningsinstituttet
- Nansensenteret for miljø og fjernmåling (NERSC)
- Norsk institutt for luftforskning (NILU)
- Meteorologisk institutt (koordinator)

Finansiert av Norges forskningsråd - KlimaProg. Startet høsten 1997.

Prosjektledelse

Professor Trond Iversen (leder)
Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo
(<http://folk.uio.no/trondi>)

Professor Sigbjørn Grønås
Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen

Seniorforsker Eivind A. Martinsen
Meteorologisk institutt (met.no)

Prosjektkontakt

E-post: regclim@met.no
web: www.nilu.no/regclim
Dato: November 2002



Den første brosjyren fra RegClim utkom våren 2000.
Se: www.nilu.no/regclim



Meteorologisk
institutt
met.no

www.nilu.no/regclim