

Er det noen tvil om menneskeskapte klimaendringer?

Rasmus Benestad, Hans Olav Hygen og Øyvind Nordli

Rasmus Benestad (f. 1968) er seniorforsker ved Meteorologisk institutt, og har doktorgrad fra Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics ved Universitetet i Oxford, England. Forskningsinteresser spenner over klimaendringer og variasjoner på lokal til global skala, og koblinger mellom atmosfære, hav og solaktivitet.

Hans Olav Hygen (f. 1971) har doktorgrad i meteorologi fra Universitetet i Bergen (2001), og er avdelingsleder for klimatjenester ved Meteorologisk institutt. Forskningsinteresser er klimavariasjoner og effekten av klimavariasjoner på lokale forhold. Hans forskning er preget av samarbeid med andre, der prosjektene studerer effekten av variasjoner i klima på andre fagfelt som for eksempel bygg og infrastruktur.

Øyvind Nordli (f. 1943) er seniorforsker ved Meteorologisk institutt med doktorgrad fra Universitetet i Bergen (2008). Seneste forskningsinnsats er innenfor historisk klimatologi, da vesentlig analyse av lange temperaturserier. Fokus har vært på klimavariasjoner og trender.

Klimaet har alltid variert. Kunnskapen om hva som skaper klimavariasjoner og klimaendringer er oppsummert, både hva gjelder naturlige årsaker og det som er menneskeskapt.

Hva mener vi med klima?

Når vi spør om vi opplever menneskeskapte klimaendringer, er det viktig å ha en klar formening om hva begrepet *klima* betyr. Klima kan beskrives som værstatistikk, som inkluderer gjennomsnittlig vær, men også typiske variasjoner, for eksempel i minimums- og maksimumsverdier, ekstreme tilfeller og antall stormer. Man kan tallfeste klima ved hjelp av matematiske kurver som kalles sannsynlighetsfordelinger (på engelsk: *probability density functions*, forkortet som *pdfs*). Disse fordelingene beskriver hvor hyppig en viss værtilstand oppstår, for eksempel hvor ofte det er varmere enn 30°C på Hjerkinsk (praktisk talt umulig).

Statistiske trekk¹ er ofte langt mer forutsigbare enn enkelttilfeller, og det er en klar sam-

menheng mellom værstatistikken og fysiske forhold. Et par enkle sammenligninger er at vi lett kan si at gjennomsnittstemperaturen i Oslo er høyere om sommeren enn om vinteren, og at årsnedbøren i Bergen er høyere enn på Røros. Men det er ikke alltid slik, og vi kan finne enkelte unntak da været tok et uvanlig krumspring. Men statistikken er tydelig, og det er nettopp den statistiske siden av været som vi bruker for å lage et fremtidsbilde, og ikke værets spesifikke utvikling eller unntakene.

Forskjellen mellom vær og klima forklarer hvorfor vi kan beregne klima for de neste 100 år, til tross for at vi ikke kan varsle været mer enn noen få dager fremover. Vi kan si noe om værstatistikken i fremtiden og endringer av den. Med andre ord; vi kan si noe om sannsynlighetsfordelingen av ulike typer vær i mai

1. Som parametere som definerer sannsynlighetsfordelinger.

2064, selv om vi ikke kan varsle været på 17. mai 2064.

Historikken til klimakunnskapen

Mennesket har alltid observert naturen og hvordan været endrer seg. Grekerne fant ut at været endret seg med solvinkelen og brukte det greske ordet for helling, nemlig *Klima*, til å beskrive dette. Observasjonene av naturen og været fortsatte etter grekerne, og tok en ny vending da Galileo fant opp termometeret i 1593. Den store overgangen med denne oppfinnelsen gjorde at menneskeheten nå kunne kvantifisere temperaturen. Det var overgangen fra å gjøre kvalitative observasjoner til å tallfeste dem (kvantifisere dem).

Når det gjelder klima, kom de neste store sprangene med Fourier, Tyndall, Arrhenius og Hulburt. Fourier var en fransk matematiker som levde i perioden 1768 til 1830. Han fastslo at jorden ganske enkelt var for varm i forhold til hva avstanden fra solen og dens energiutstråling tilsa at den burde være. Ut fra dette, konkluderte han at atmosfæren måtte ha en isolerende effekt. Han kalte dette for *drivhuseffekten*.

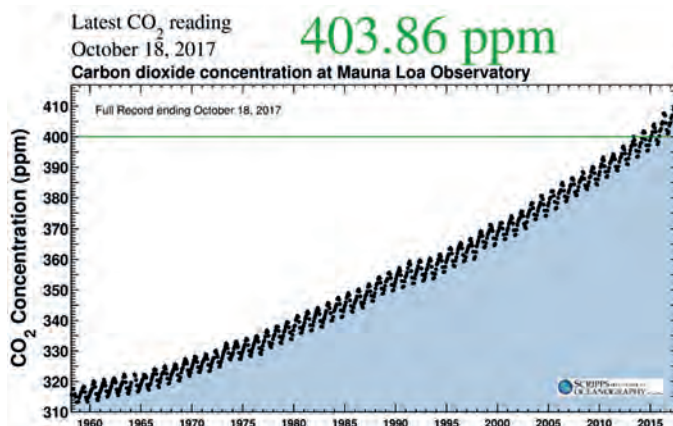
Etter Fourier, kom John Tyndall (1820–1893). Han sluttet seg til den nye kunnskapen om at mye av Nordvest-Europa hadde vært dekket av is en gang i tiden. Dette og Fouriers antagelser ble starten på hans jakt på spørsmålet om endringer i atmosfæren kunne forklare denne typen klimavariasjoner. Resultatet var at han fant ut at vanndamp og CO₂ hadde evnen

til å fange og holde på varmen. De er med andre ord det vi i dag kaller *drivhusgasser*.

Da Svante Arrhenius kom på banen på slutten av 1800-tallet, var det altså etablert kunnskap at atmosfæren påvirket jordens temperatur, og at blant annet CO₂ var en viktig drivhusgass. Arrhenius levde da Norden var preget av blant annet Den lille istid, og han fryktet for et kaldere klima. Med dette utgangspunktet, beregnet han hva som kom til å skje med jordens klima om en halverte mengden CO₂. Og som en akademisk øvelse, regnet han ut hva som skjedde om en doblet mengden CO₂. Resultatene til Arrhenius er interessante fordi de samsvarer bra med dagens beregninger av klimafølsomheten.

I 1931 så Hulburt nøyere på drivhuseffekten i lys av bedre data enn det som tidligere hadde vært tilgjengelig. Han tok også med effekten av vertikale luftstrømmer (konveksjon) i tillegg til varmestråling, i sine beregninger. Beregningene til Hulburt endte opp med en økning på 4 °C ved en dobling av CO₂, noe som var konsistent med Arrhenius sine resultater (basert på et mer spinkelt datagrunnlag), men disse er også forenlige med nyere beregninger med klimamodeller. I 1931 tok den engelske ingeniøren Callendar disse resultatene til seg, og foreslo at en økning av de atmosfæriske CO₂-konsentrasjonene burde være på 10 % for å sikre menneskeheten et varmere klima.

Callendar sitt forslag om økning på 10% fremsatte spørsmålet om hvor mye CO₂ det egentlig var i atmosfæren. På den tiden fantes



Figur 1. Keeling-kurven som viser målinger av CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren. Målingene gjøres ved at man tar luftprøver og måler hvordan infrarødt lys blir stoppet, og konsentrasjonen er beregnet ut ifra målt absorbering. Det er de samme absorberende egenskapene som måles i disse luftprøvene, som gjør at CO₂ er en drivhusgass og som skaper et varmere klima.

det ingen standardiserte metoder for å måle CO₂-konsentrasjonen, og ser en på gamle målinger, finner en mye rart. I de gamle målingene av CO₂ finner en målinger innendørs og nær fabrikker. Det var først etter 1958 at systematiske og gode målinger av CO₂ ble utført i det som representerer den frie atmosfæren, det vil si det globale bakgrunnsnivået. Mannen bak dette var Charles Keeling fra Scripps Institute of Oceanography ved University of San Diego. Han fikk midler til å sette opp en måler på Mauna Loa på Hawaii (3397 moh.), langt ute i Stillehavet og dermed langt unna utslippskildene. Denne målestasjonen har gått siden den gang og har gitt kontinuerlige observasjoner av CO₂-innholdet i atmosfæren, og den er en del av et varierende nettverk av tilsvarende målinger. Disse målingene er blitt til den ikoniske Keeling-kurven vist i figur 1. Utviklingen har gått fra rundt 315 ppm CO₂ i 1958 til over 400 ppm CO₂ i dag. Med andre ord har vi overopplyst Callendar sitt forslag om en 10 % økning.

Hva bygger den moderne klimakunnskapen på?

Kunnskapen rundt klima er i dag bygget på empiriske studier og modeller av bevegelse av energi, bevegelsemasse og masse i hav og atmosfære, der fysiske prosesser er sentrale elementer. Resultatene av modellene blir kontrollert opp mot observasjoner. En av de store utfordringene i klimaforskningen er at vi ikke har mer enn noen hundre år med målinger. For å bøte på dette, er det utviklet en gren innen klimaforskning der fortidens klima rekonstrueres ved hjelp av informasjon om hvordan klimaet har lagt igjen spor etter seg. Ved hjelp av avanserte målinger av isotoper og halveringstider, har man kunnet datere gasser og beregne hvordan klimaet, og spesielt temperaturen, har endret seg før termometrene ble oppfunnet. I tillegg til observerbare variasjoner i naturen, brukes også menneskelige kilder som skips- og gårdsdagbøker. Til sammen gjør dette at vi nå har ganske god oversikt over variasjoner i jordens temperatur gjennom de sis-

te 800 000 år, og en grovere oversikt over hva som har foregått flere millioner år tilbake i tid.

Rundt 1970 var datamaskinene blitt sterke nok til å begynne å beregne jordens klima og klimautvikling. De første modellene var ikke veldig mye mer avanserte enn Arrhenius og Hulburt sine fysikkbaserte beregninger, men de var den spede begynnelsen på klimavitenskapen slik vi kjenner den i dag. Siden har vi fått nye og bedre analysemetoder og større regnekraft. Det gjør at vi nå kan utføre mer omfattende og mer presise analyser. I tillegg til observasjoner og analyser, har den voksende regnekraften medført langt mer avanserte klimamodeller. Disse modellene er nært beslektet med værvarslingsmodellene. Over de siste tiårene har det vært gjort store fremskritt i måten vi beregner vær og klima på.

Den voksende informasjonsmengden gjør også at gamle data belyses på en ny måte, og at man ved kvalitetskontroller kan avdekke enkelte feil eller avvik som kan skyldes gammel observasjonspraksis. Direkte feil blir rettet, mens mindre avvik blir korrigert uten at de opprinnelige dataene blir slettet. Dette gjør at de tallene man hadde før ikke nødvendigvis er de samme som vi har nå. Men det er alltid slik at korrigeringene kan etterprøves. Observasjonene settes sammen med fysisk forståelse i store modeller, noe som igjen kan gi ny forståelse, ny oversikt over usikkerhet og nye tall. Dette er en konsekvens av den vitenskapelige fremgangen. Men det forekommer også nye arkeologiske oppdagelser som kaster nytt lys over fortidens klima.

Hva slags klima hadde vikingene?

Vikingtiden var en varm periode. Kanskje var det en nødvendig betingelse for at Grønland kunne bli bosatt av norrøne jordbrukere. Eirik Raude kom dit på 980-tallet der han ryddet seg en gård på et sted han kalte Brattalid. Korn dyrking var en del av kulturen der de kom fra, så det er rimelig å anta at grønlendingene også gjorde forsøk på dyrking. Det er funnet korn i møddinger, men spørsmålet er om de har vært dyrket på stedet eller importert med skip fra

Norge. Kongen var pliktig til å sende skip til Grønland.

Endelig er det nå bevist at det har vært dyrket korn på Grønland, for i en mødding nettopp på gården Brattalid er det funnet hele kornaks. Det kan umulig ha vært sløst med dyrebare skipsrom ved at kornet ikke ble tressket før utskipping. I dag har Grønland meteorologiske målinger nær Brattalid, på Nassarsuaq. De viser at somrene ved Brattalid var om lag like varme som i norske fjellbygder for 150 år siden, der temperaturen da var 1,0–1,5 °C lavere enn i dag. Trass i dette ble det dyrket korn i fjellbygdene også da. Det betyr sannsynligvis at korndyrking i Nassarsuaq kunne ha vært mulig også i dag om det hadde vært økonomisk regningsvarende.

Deler av vikingtida var sannsynligvis like varm som den varmen vi har opplevd de siste 20–30 åra, uten at det da ble sluppet ut store mengder klimagasser. Dette er et eksempel på naturlige klimavariasjoner både i rom og tid. Den globale middeltemperaturen var også høy i vikingtida, men likevel betydelig lavere enn i dag. Solaktiviteten var høyere enn gjennomsnittet, og det var få vulkaner som spredde støv opp i stratosfæren, men likevel var altså dette ikke nok til å heve den globale middeltemperaturen opp til dagens nivå.

Klimaendringene

Klimaet har alltid variert, og vil alltid variere. Men det har alltid vært en eller flere fysiske årsaker for disse variasjonene. Det er sjeldent at det bare er én fysisk prosess som driver klimaendringene, for som regel er det en kompleks cocktail av ulike fysiske prosesser som både virker med og mot hverandre. Dette gjør at klima blir en kombinasjon av en forutsigbar respons og uforutsigbare innslag av ulike årsaker av en ikke-lineær, kaotisk karakter. De første klimaberegningene, for eksempel Arrhenius sine, forholdt seg bare til den forutsigbare delen av systemet, mens moderne modeller også tar hensyn til naturlige variasjoner som blant annet oppstår fra samspillet mellom hav og atmosfære. Dette fører også til at ingen klimaberegninger for fremtiden vil bli identiske.

Det er heller ingen motsetning mellom menneskeskapte og naturlige klimaendringer, siden begge skjer samtidig. En vanlig misoppfatning er at naturlige klimavariasjoner utelukker menneskeskapte endringer, men det faktiske forholdet er at naturlige klimavariasjoner tilsier at det også er menneskeskapte klimaendringer. Vi skal forklare dette i mer detalj i nedenfor.

Global oppvarming er skapt av både naturlige og kunstige årsaker

Vi kan nå med sofistikerte og moderne instrumenter måle nær sagt alle fysiske forhold som muligens kan påvirke jordens klima. Ut fra dette kan vi regne på effekten av de ulike virkningene på klimasystemet. I tidligere tider har noe av de globale klimavariasjonene vært forårsaket av forandringer i solen, men det har ikke vært noen utvikling i solaktiviteten siden 1950-tallet som kan forklare den observerte oppvarmingen (for eksempel solflekker eller kosmiske stråler) (Benestad 2013). Istdiene har vært drevet av forholdet mellom solen og jorden, beskrevet av Milankovitch, men dette beskriver ikke de variasjonene vi ser nå.

Variasjonene i jordens klima forsterkes av tilbakevirkende krefter

De observerte *naturlige* variasjonene i klimaet kan ikke forklares uten forsterkende mekanismer i klimasystemet (kalt *positive tilbakekoblinger*). De naturlige eksterne krefter som påvirker jordens klima har vært for svake til å forklare de historiske klimavariasjonene uten slike mekanismer. Noen eksempler på hva som skaper de naturlige klimavariasjonene er variasjoner i jordens bane rundt solen (Milankovitch-syklusene), endringer i solaktiviteten (for eksempel 11-års Schwabe-syklus) og vulkanutbrudd.

En type tilbakekoblet effekt innebærer en forsterket respons på endringer i temperaturen. Slike tilbakekoblinger inkluderer redusert snø- og is-areal, som fører til at mer sollys blir fanget opp av bakken eller havet (*planetarisk albedo*). I tillegg kan varmere luft inneholde mer fuktighet og forsterke oppvarmingen, si-

den vanddamp også er en klimagass. Også variasjoner som oppstår spontant av endringer i havets temperatur og havstrømmer, kan bare forklares med tilbakekoblede prosesser, slik som El Niño Sør-Oscillasjon (ENSO).

Hvor sikre kan vi være på at den globale oppvarmingen er et resultat av våre CO₂-utslipp?

Vi har god kunnskap om drivhuseffekten (Benestad (2016); se også Benestad (2017) i *Naturen*) som både er til stede på jorden og andre planeter. De ekstremt høye temperaturene målt på overflaten til Venus for eksempel, skyldes en meget høy konsentrasjon av CO₂.

Når klimamodellene mates med de observerte CO₂-konsentrasjonene, gjengir de den observerte globale oppvarmingen (figur 2). Det er ingen tvil om at CO₂ har de egenskapene som gjør den til en drivhusgass: Dette kan lett måles i laboratoriet, og de jevnlige målingene av CO₂-konsentrasjonene i atmosfæren er basert nettopp på hvor mye varmestråling som fanges opp i luftprøver som tas. Disse egenskapene bekreftes også teoretisk gjennom kvantefysikken. Men også andre gasser, som

for eksempel vanddamp (H₂O) og metan (CH₄), er drivhusgasser.

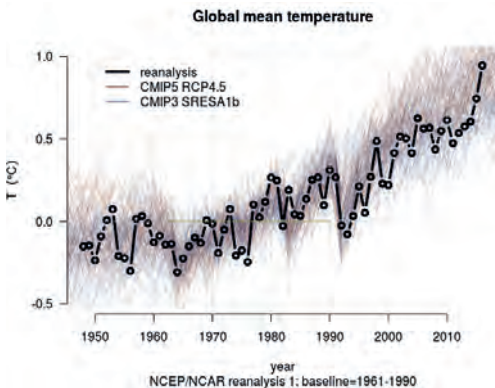
Mens CO₂ har en lang levetid i atmosfæren, faller vanddamp fort ut som regn. Atmosfærens fuktighet er også forbundet med skyer, noe som i stor grad varierer fra sted til sted og over tid. Atmosfærens innhold av vanddamp viser ikke noen tydelig trend på samme måte som CO₂-konsentrasjonene (figur 1). Metan derimot, forvandles til CO₂ i løpet av ca 10–15 år.

CO₂ er en drivhusgass og et biprodukt av fossile energikilder

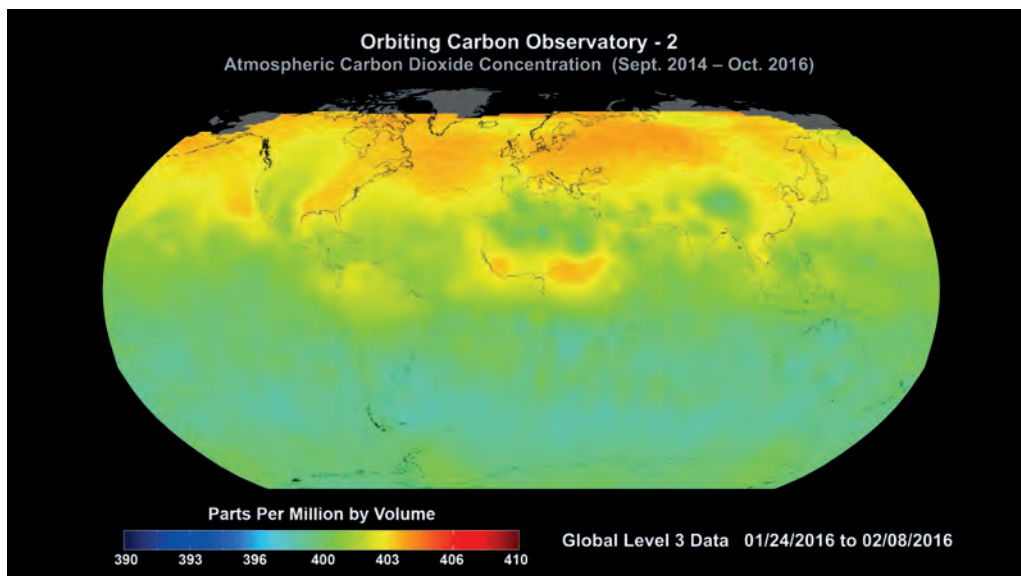
Økningen i atmosfæriske konsentrasjoner av CO₂ er forårsaket av forbrenning av kull, olje og gass. Det er gammel og velkjent kunnskap innen kjemi at forbrenning av karbonbaserte materialer (oksidering) gir CO₂, og det er ganske lett å beregne hvor mye CO₂ som dannes når man forbrenner de fossile ressursene. Figur 3 viser at CO₂-konsentrasjonene er høyest nær utslippskildene. Det ville være vanskelig å forklare den globale oppvarmingen dersom det ikke hadde vært noen økning i CO₂. Økningen siden den pre-industrielle revolusjonen har vært på ca. 40 %.

Hav, bakke og luft utveksler CO₂ kontinuerlig, og måten karbonatomene knytter seg opp i ulike former i disse sfærene, skaper et naturlig kretsløp ved jordens overflate. Forholdet mellom CO₂-innholdet i atmosfæren og havene påvirkes av temperaturen, slik det er beskrevet med Henrys lov. Men Henrys lov sier ingenting om den totale mengden av karbon ved jordens overflate, og dermed heller ikke noe om CO₂ i atmosfæren. Det skjer også et opptak av CO₂ i havene. CO₂-opptaket i havene gjør at de blir surere (lavere pH-verdier), og det tyder på en økning av CO₂ fra fossile kilder.

Havene har ofte en komplisert struktur, men vi har likevel en god forståelse for hva som skjer med CO₂ etter at den fanges opp av havoverflaten. Havstrømmene og måten CO₂ forflyttes på kan avledes ut ifra sporingsstudier basert på andre kunstige stoffer, som radioaktive isotoper og klorbaserte kjemiske forbindelser. Karbon kan ikke bare oppstå eller forsvinne uten videre, og når karbon knyttet til



Figur 2. En sammenligning mellom observert og modellert global årlig middeltemperatur viser et godt samsvar mellom modellberegningene og virkeligheten. I modellberegningene har man tatt høyde for hvordan CO₂-konsentrasjonene har økt over tid, samt historiske vulkanutbrudd. Modellene beregner temperatur, vind, trykk, fuktighet og energistrøm ved hjelp av fysikkens lover på samme måte som værvarslingsmodellene. CMIP3/5 er ulike generasjoner av globale klimamodeller. Kilde: Rasmus Benestad.



Figur 3. CO₂ målt fra satellitt (OCO-2) viser høyest konsentrasjoner over den nordlige halvkulen om vinteren. Vi kan se høye konsentrasjoner over østkysten av USA og Europa som spres med vestavindsbeltet, i tillegg til over regnskogen i sentrale deler av Afrika. Konsentrasjonen er lavere over havene. Kilde: NASA. <https://goo.gl/FYUyKz>

kull, olje og gass (som har ligget i bakken i millioner av år) blir tilført jordens overflate, medfører det en økning i CO₂-konsentrasjoner i havet, landjorden og atmosfæren. Man kan også fastslå at den målte CO₂-økningen er et resultat av forbrenning av kull, olje og gass gjennom studier av isotopene C-12, C-13 og C-14, i tillegg til forholdet O₂/N₂ som har blitt redusert over tid (forbrenning trenger oksygen for å danne CO₂).

Fysikken bak drivhuseffekten forklarer global oppvarming

Kan atmosfæren bli «mettet» slik at den oppfører seg som en «våt svamp» som ikke klarer å fange opp mer varmestråling? Nei, og fysikken bak drivhuseffekten forklarer hvorfor det ikke er noen «våt-svamp-effekt» når det gjelder drivhuseffekten. Observasjoner fra Venus motbeviser også dette argumentet.

Oppfatningen om en våt-svamp-effekt er knyttet til en misoppfatning om drivhuseffekten. Den teoretiske effekten av drivhusgassene på varmestrålingen varierer riktignok logaritmisk med konsentrasjonene, og hver dobling av konsentrasjonene gir en lik global oppvar-

ming. Men disse beregningene ser bort fra omveltninger i atmosfæren, som Hulburt var den første til å ta høyde for. I virkeligheten er det den optiske dybden for varmestråling, og hvor høyt over bakken varmetapet skjer, som er avgjørende (se Benestad (2017) i *Naturen*). Varmestråling som sendes oppover blir ofte absorbert på nytt av luft høyere oppe. Spørsmålet er hvor høyt oppe i atmosfæren en må være, for at varmestråling kan slippe ut i verdensrommet uten å bli fanget opp på nytt av luft høyere oppe. Derfor er det ingen «våt svamp»-effekt.

Den globale oppvarmingen fortsetter

Kan den globale oppvarmingen ha tatt en pause eller stoppet etter 1998? Det var en stund da den estimerte globale middeltemperaturen så ut til å flate ut. Men det globale havnivået fortsatte å øke og is og snø minket. Hva skjedde?

Forklaringen var at termometre ikke er jevnt spredt utover hele kloden, og at det har vært en kraftig oppvarming over Arktis de siste tiårene som ikke ble godt nok fanget opp av målestasjonene. Dermed ble denne oppvarmingen tillagt for liten vekt. Den kraftige opp-

varmingen i Arktis var forventet allerede på 1980-tallet, kjent som *the polar amplification*.

Men misoppfatningen har også bygget på temperaturmålinger i middelhøye luftlag over tropene, målt fra satellitter. Disse målingene gir ikke det fulle bildet, samtidig som at måleresultatene preges av fuktighet og skydannelse knyttet til konveksjon, Hadleycellen og skybeltet langs ekvator (den intertropiske konvergenssonen).

Analysen av de siste målingene tyder på at klimamodellene har hatt rett hele tiden, og at modellene er i samsvar med målte temperaturer (figur 2).

Satellittmålinger baserer seg på teorien som tilsier en forsterket drivhuseffekt

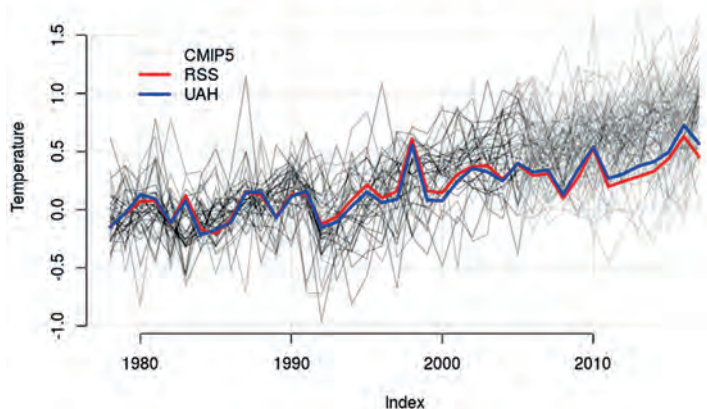
Kan satellittmålingene brukes som et argument mot en økt drivhuseffekt? Det er viktig å forstå hva disse målingene bygger på. Satellittene måler nemlig ikke temperaturen direkte. De estimerer en temperatur for en luftstøyle i atmosfæren ved hjelp av fysikkbaserte algoritmer. Disse algoritmene er imidlertid forbundet med de samme fysiske prinsippene som også indikerer at en økt konsentrasjon av CO₂ styrker drivhuseffekten. I praksis bruker man samme teori når man beregner temperaturen fra varmestrålingen observert med satellitt som når man beregner endret temperatur på jorden som følge av endret drivhuseffekt.

Vi ville hatt et forklaringsproblem hvis beregningene som tilsier at mer CO₂ forsterker drivhuseffekten i klimamodellene også hadde avkreftet en økt drivhuseffekt med økte konsentrasjoner av CO₂. Men satellittmålingene er påvirket av flere faktorer, som deres bane høyt oppe rundt jorden (to ulike analyser av satellittmålinger, RSS og UAH, gir litt ulike svar med bakgrunn i hvordan en setter sammen målinger fra de forskjellige satellittene), luftkvalitet og forstyrrelser fra lys som sendes ut av luft over tropopausen. En økt drivhuseffekt, med oppvarming ved bakken, er ledsaget av en nedkjøling i stratosfæren. Satellittmålinger gir summen for både troposfæren og stratosfæren som gir motsatte signaler over tid. Men, på tross av alle disse usikkerhetene om målingene fra satellitter, er satellittmålinger og modellresultater ganske like (se figur 4). Begge settene med målinger viser at den globale oppvarmingen fortsatt skrider fremover.

Klimadebatten har et mer dogmatisk preg

Når tema blir veldig teknisk, blir argumentene ofte dogmatiske og lite kritiske. Det er typisk at det henvises til en artikkel eller et utsagn fra en angivelig ekspert, og at det tas for god fisk. Men det er ikke vanskelig å finne ett eller annet som støtter et synspunkt, bare man leter lenge nok. Et eksempel er de som henter grafer fra internett for å argumentere for sitt syn.

Global lower Tropospheric Temperature (TLT)



Figur 4. En sammenligning mellom temperaturer fra klimamodeller og satellittmålinger. De sorte kurvene er fra ulike klimamodeller mens blå og røde kurver er analyser basert på satellittmålinger. Kilde: Rasmus Benestad.

Ofte vises det til en sammenligning av ulike kurver, men en vanlig feil er å sammenligne ting som ikke er sammenlignbare. For eksempel sidestilles observert klima med gjennomsnittet av mange modellberegninger. Men dette er ikke en riktig måte å teste modellene på, fordi man da sammenligner ulike størrelser, litt som epler og pærer. Observasjonene må derimot sammenlignes med hver enkelt modellberegning, og det beste er å bruke standard statistiske tester som tar hensyn til spredningen i modellresultatene. Med korrekte statistiske tester er samsvaret mellom modellberegninger og virkelighet ikke gal.

Det er viktig å fortelle hele historien bak resultatene, og forklare hvorfor noen svar er mer overbevisende enn andre. En annen ting er at vitenskapelige resultater må kunne etterprøves av andre, og uavhengig av hverandre, noe som krever både åpenhet og innsyn (Benestad mfl. 2015). Vi må altså vite hvordan man har kommet frem til konklusjonene. Hvis det finnes noen bevis som tyder på at økt CO₂ ikke påvir-

ker drivhuseffekten, bør det være enkelt for andre å gjenta analysen og få de samme resultatene. Det er viktig å ha i mente at vitenskapen er en dugnadsjobb og tilliten til vitenskapelig kunnskap bygger på åpenhet og at andre får samme svar.

Referanser og videre lesning

- Benestad R E. 2013. Are there persistent physical atmospheric responses to galactic cosmic rays? *Environ. Res. Lett.* 8, 035049.
- Benestad R E. 2016. A mental picture of the greenhouse effect: A pedagogic explanation. *Theor. Appl. Climatol.* doi:10.1007/s00704-016-1732-y.
- Benestad R E. 2017. Hvordan virker drivhuseffekten? *Naturen* 141: 187–192.
- Benestad R E mfl. 2015. Learning from mistakes in climate research. *Theor. Appl. Climatol.* doi:10.1007/s00704-015-1597-5.
- Edwards P. 2010. *A Vast Machine*. MIT-Press. <https://mitpress.mit.edu/books/vast-machine>.
- Weart S. 2003. *Discovery of global warming*. Harvard University Press, <https://history.aip.org/climate/index.htm>.