

DOKTORAND: Irene Brox Nilsen
GRAD: Philosophiae doctor
FAKULTET: Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet
INSTITUTT: Institutt for Geofag
FAGOMRÅDE: Hydrologi
VEILEDERE: Lena M. Tallaksen, Frode Stordal, Chong-Yu Xu
DISPUTASDATO: 14. november 2017

AVHANDLINGENS *Detecting and attributing recent warming in*
TITTEL: *Europe*

Den viktigste årsaken til klimaendringer er utslipp av drivhusgasser, men klimaendringer kan *forsterkes* av lokale prosesser. Vi viser i denne avhandlingen at temperaturen i løpet av den varme sommeren 2006 ble forsterket av lite nedbør og tørre forhold på bakken. Dette arbeidet bidrar til en bedre forståelse av hvilken rolle vannbalansen spiller for temperaturberegninger i klimamodeller.

De siste tiårene har Europa blitt varmet opp raskere enn resten av verden, særlig når man studerer enkeltsesonger. Dette er fordi oppvarmingen ikke bare skyldes økte utslipp av drivhusgasser, men også endringer i atmosfæresirkulasjonen. For eksempel bringer vestavær med seg varmere luft om vinteren, og mer vestavær gir dermed varmere vintre. Tilbakekoblingsmekanismer som kan forsterke oppvarmingen lokalt spiller også en rolle. For eksempel reflekterer snø mer solstråling enn gress, og med mindre snø blir det absorbert mer energi i systemet (tilbakekobling mellom snø og albedo). En annen tilbakekobling, mellom markvann og temperatur, virker i perioder når det er så tørt at fordampningen begrenses. Siden fordampning krever energi, brukes mindre energi på fordampning og mer energi på å varme opp lufta i visse tørre perioder, slik som sommeren 2006. Formålet med denne avhandlingen er å påvise månedlige temperaturtrender i Europa de siste 30 årene, og å forbedre forståelsen av drivkreftene bak sesongvise temperaturendringer. Dette gjorde vi ved å dele inn temperaturendringene i én komponent forårsaket av endringer i atmosfæresirkulasjon samt én komponent forårsaket av lokale prosesser. Merk at vi ikke skiller mellom naturlig variabilitet og menneskeskapte klimaendringer fordi atmosfæresirkulasjonen og lokale prosesser kan begge være påvirket av menneskeskapte klimaendringer!

I den første delen av avhandlingen utviklet vi en forbedret statistisk metode for å skille ut den delen av temperaturendringen som kan tilskrives endringer i atmosfæresirkulasjon for perioden 1981–2010. Atmosfæresirkulasjon kunne ikke forklare oppvarmingen i Europa i april, eller juni–august. I den andre delen av avhandlingen dokumenterte vi, for Norge, at tilbakekobling mellom snø og albedo kunne forklare en del av temperaturøkningen i april, samt ved en modellstudie, at tilbakekobling mellom markvann og temperatur kunne forklare en del av temperaturavviket sommeren 2006 *forutsatt* at bakken var tilstrekkelig tørr.

Denne avhandlingen berører et viktig samspill mellom vannbalansen lokalt og temperaturendringer, og det er sannsynligvis første gang markvann–temperatur-feedback er dokumentert for Norge.

Detecting and attributing recent warming in Europe

Climate change is not only caused by greenhouse gas emissions, but also by local processes that accelerate warming. We have documented a feedback between low soil moisture and temperature, explaining elevated summer temperatures in Norway in 2006. This work contributes to a better understanding of the water balance that is essential to correctly predict temperatures in climate models.

Europe has warmed faster than the rest of the globe during the last decades, especially when considering trends for each season separately. In addition to warming caused by greenhouse gas emissions, the atmospheric circulation is the key driver of seasonal warming in Europe. For example, westerly airflow tends to bring warmer weather in winter. Of secondary importance are climate feedbacks that may enhance warming locally. For example, snow reflects more sunlight than grass or bare ground. A retreating snow cover reveals a darker ground that allows more sunlight to be absorbed, and leaves more energy available for further melting and warming (the snow albedo feedback). A different feedback, the soil moisture–temperature feedback, mainly acts during warm spells when the soil moisture may decrease to such low levels that evaporation is reduced. Since evaporation requires energy, less evaporation means less cooling, which means that the initial warming is enhanced. The aim of this thesis is to detect recent trends for Europe on the monthly scale, and improve our process understanding of key drivers of change.

In the first part of this doctoral work, monthly temperature trends and their physical drivers were explored by separating the temperature trend signal into circulation changes (that is, variations in the occurrence of, for instance, westerly weather) and other factors: *within-type changes*. "Other factors" include local feedbacks enhancing the warming, but may also include warming due to greenhouse gas emissions. Note that this separation does not divide causes of warming into natural variability and anthropogenic forcing because both circulation changes and within-type changes may be influenced by anthropogenic global warming. To determine whether the warming could be attributed to circulation changes, we developed a novel statistical approach and applied it to temperature trends for Europe (Paper II). Circulation changes could not account for all the observed warming in Europe over the period 1981–2010. Therefore, other factors than circulation changes contributed; for instance, to the warming covering large parts of Europe in April, June–August.

The second part of the thesis assessed the snow albedo feedback and the soil moisture–temperature feedback as possible causes of warming for Norway. Analyses over the past five decades showed strong decreases in snow mass at low elevations, accompanied by warming (Paper III). From Papers I–III, we chose South Norway as a focus region, in April and July–September, for a modelling study because this region displayed potential for positive feedbacks (within-type changes). Last, we used a regional climate model to test the contributions of the snow albedo feedback and the soil moisture–temperature feedback (Paper IV). The snow albedo feedback contributed to enhanced warming in spring. Further, the positive soil moisture–temperature feedback could enhance warming in summer, provided that the initial conditions on the ground were sufficiently dry.

This is likely the first time the soil moisture–temperature feedback has been documented for Norway. It is important to study feedbacks between the water balance on land and the atmosphere to correctly predict temperature changes in climate models.