

**DOKTORAND:** Borgar Aamaas  
**GRAD:** Philosophiae doctor  
**FAKULTET:** Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet  
**INSTITUTT:** Institutt for geofag  
**FAGOMRÅDE:** Meteorologi og oseanografi  
**VEILEDERE:** Terje K. Berntsen, UiO og CICERO  
Glen P. Peters, CICERO  
**DISPUTASDATO:** 15. juni 2016

**AVHANDLINGENS TITTEL:** *Developing, evaluating, and applying emission metrics for the assessment of the climate impact of transportation*

**Flyreiser til nordmenn har ein større klimaeffekt enn vi likar å tru. Om vi skal snu den globale oppvarminga på kort og lang sikt må vi redusere utsleppa av CO<sub>2</sub> frå fossile brensel, og ikkje einseitig fokusere på såkalla kortlevde klimadrivarar som sot og metan. Ved å studere utslepp etter påverknad og faktisk effekt på klimaet så kan dei sjåast i ein større samanheng.**

Klimaet blir påverka av menneskeskapte gassar, partiklar og indirekte effektar. Nokre prosessar er oppvarmande, andre nedkjølande, og dei endrar klimaet vårt på svært ulike tidsskalaer. Vi skil mellom kortlevde og langlevde klimadrivarar. Kortlevde klimadrivarar er til dømes sot, ozon og metan. Til dømes fører sotpartiklar til omtrent ein million gongar sterkare oppvarming enn CO<sub>2</sub> så lenge dei er i atmosfæren. Likevel betyr CO<sub>2</sub> i lengda mykje meir ettersom sotpartiklane forsvinn frå atmosfæren etter ei kort veke, mens store delar av CO<sub>2</sub>en blir verande i 100 år.

I denne avhandlinga er det undersøkt klimaeffekten av utslepp frå transportsektoren. Nordmenn reiser mykje, og nettopp flyreiser har ein større klimaeffekt enn tidlegare vist. Det er viktig å ta med utlandsreisene og alle relevante klimaeffektar, ikkje berre CO<sub>2</sub>. Dei lange reisene er få, men det er desse som bidrar mest til oppvarminga.

Doktorgraden har undersøkt og utvikla ulike måtar å samanlikne utslepp etter påverknaden dei har i ein klimasamanheng. Dette er ikkje nødvendigvis lett, men må bli gjort. Denne reiskapen vert kalla vektfaktor på norsk, og er eit enkelt, fleksibelt og mykje brukt verktøy. Dei vitenskaplege og politiske vala er mange, til dømes kva del av klimasystemet (endring i jordas strålingsbalanse, temperaturendring, havnivåstigning) og kor langt fram i tid vi skal vurdere utsleppa.

Ein tilleggsdimensjon er kva for utslepp som kan inkluderas i modellen. Er til dømes berre direkte utslepp frå ein aktivitet med, eller utslepp frå heile livsløpet? Funna viser at utslepp av CO<sub>2</sub> er viktig nesten uansett kva for val vi tek. Å kutte utslepp av kortlevde klimapådrivarar som sot er bra, men dette kan ikkje gå på akkord med utsleppskutt av CO<sub>2</sub>.

Arbeidet er kritisk til standardmetoden norske styresmakter tradisjonelt har samanlikna ulike klimaeffektar, som er den endra strålingsbalansen over 100 år. Det offisielle norske

klimagassrekneskapet brukar denne metoden.

Ei perfekte vekting av ulike effektar eksisterer ikkje påpeiker doktoranden, men foreslår å bruke global temperaturendring som mål, til dømes sett mot 2 °C oppvarming. Kor kraftig den globale oppvarminga blir betyr ikkje alt; kor *rask* denne oppvarminga skjer, betyr òg mykje for naturen og samfunnet. Internasjonale klimaavtalar er opptekne av begge delar. Den eine studien i avhandlinga har sett på nye måtar å ta høgde for dette i vektfaktorar.

Denne doktoravhandlinga er i gjort ved CICERO og dels ved Institutt for geofag, UiO. Fagfeltet er meteorologi, men doktoranden trekk inn aspekt frå politikk og ser klimautslepp i den store samanhengen. Doktoranden har bidratt i den siste hovudrapporten frå FNs klimapanel med funn frå arbeidet. Han har òg gitt råd til Miljødirektoratet om bruk av vektfaktorar og korleis kutte utsleppa av kortlevde klimadrivarar.

### **English version:**

**The air travel by Germans and Norwegians have a larger climate impact than previously thought. Global warming can only be stopped in the short and long term by reducing emissions of CO<sub>2</sub>, not by a unilateral focus on so-called short-lived climate forcers. The thesis is critical to the standard method of comparing different emissions.**

A new doctoral thesis has examined the climate impact of emissions from the transport sector. The climate impact of air travel by Germans and Norwegians is larger than previously assessed. The reason is that both travel abroad and all relevant climate impacts are included, and not just CO<sub>2</sub>. The long trips are very few in numbers, but still contribute the most to global warming.

The climate is influenced by manmade gases, particles, and indirect effects. Some processes are warming, other cooling, and they affect the climate on very different time scales. For instance, soot particles are roughly one million times stronger in terms of warming than CO<sub>2</sub> as long as they are present in the atmosphere. However, CO<sub>2</sub> has a much larger impact in the long run since the soot particles are removed from the atmosphere within a week, while large parts of the CO<sub>2</sub> are still around after 100 years.

The thesis has also evaluated and developed different approaches to compare chalk and cheese in terms of climate. This comparison is not easy, but has to be done. The tool applied is an “emission metric”, which is a simple, flexible and heavily used concept. The scientific and political choices we have are numerous, such as what part of the climate system (change in the Earth’s radiative balance, change in temperature, sea level rise) and what time horizon to focus on.

Another dimension is what emissions are included in the model: Is it just the direct emissions from one activity or the life cycle emissions? The findings show that emissions of CO<sub>2</sub> are important almost regardless of choices made. Emission reductions of soot help, but cannot counterbalance emission cuts of CO<sub>2</sub>.

The work is critical to the standard method of comparing different climate effects, which is the altered radiative balance over a period of 100 years. Official Norwegian emission figures apply this type. A perfect emission metric for all purposes does not exist, but the candidate suggests applying the change in the global temperature as a measure, such as a global warming of 2 °C.

What matters is not just how much hotter the global climate will be, but also how fast global warming will occur. International climate agreements are concerned with both. One of the papers has established new ways to include these issues in emission metrics.

The field of the thesis is meteorology, but the work has been broad and is highly relevant for the society at large. The candidate has contributed to the last Assessment Report from the Intergovernmental Panel on Climate Change with findings from this work. He has also given advice to the Norwegian Environment Agency about utilizing emission metrics and on how to cut emissions of short-lived climate forcers.